

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR UNIFAMILIAR EN LA
ALDEA FRANCISCO VELA UBICADA EN EL MUNICIPIO
DE SAN FELIPE DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

Alejandra Yolette Alvarado Hidalgo

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala

2017

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR UNIFAMILIAR EN LA
ALDEA FRANCISCO VELA UBICADA EN EL MUNICIPIO
DE SAN FELIPE DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR UNIFAMILIAR EN LA
ALDEA FRANCISCO VELA UBICADA EN EL MUNICIPIO
DE SAN FELIPE DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

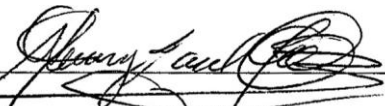
Alejandra Yolette Alvarado Hidalgo

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial


Guatemala

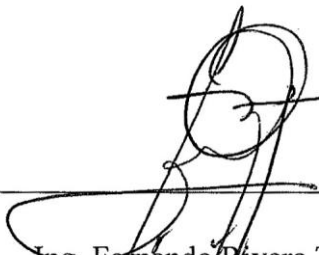
2017

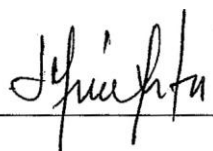
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Henry Saul Aguilar Sarceño

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Henry Saúl Aguilar Sarceño

(f) 
Ing. Fernando Rivera Turcios

(f) 
Ing. Jorge Méndez Costa

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de enero 2017.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| LISTA DE CUADROS | x |
| LISTA DE ILUSTRACIONES..... | xii |
| RESUMEN | xii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| A. GENERAL..... | 3 |
| B. ESPECÍFICOS..... | 3 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| IV. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| A. DIGESTIÓN ANAERÓBICA..... | 5 |
| 1. Etapa | 5 |
| a. Desintegración e hidrólisis..... | 6 |
| b. Acidogénesis | 6 |
| c. Acetogénesis | 6 |
| d. Metagénesis..... | 6 |
| 2. Parámetros que influyen en la digestión anaeróbica | 7 |
| a. Nutrientes..... | 7 |
| b. Temperatura | 7 |
| c. Sólidos totales y sólidos volátiles | 8 |
| d. pH..... | 8 |
| e. Relación C/N..... | 9 |
| f. Tiempo de retención y velocidad de carga orgánica..... | 9 |
| g. Potencial redox..... | 10 |
| h. Oxígeno..... | 10 |
| 3. Productos de la digestión anaeróbica | 10 |
| B. BIODIGESTORES | 11 |
| 1. Historia..... | 11 |
| 2. ¿Qué es un biodigestor y cómo funciona? | 12 |

| | | |
|----|---|----|
| 3. | Tipos de biodigestores | 13 |
| a. | Por lotes | 13 |
| b. | Semi-continuos | 13 |
| c. | Continuos | 13 |
| 4. | Diseño del biodigestor | 13 |
| a. | Plantas de cúpula fija | 14 |
| b. | Plantas de tambor flotante..... | 15 |
| c. | Plantas de bajo costo de polietileno tubular..... | 16 |
| d. | Plantas globo..... | 19 |
| e. | Plantas horizontales | 19 |
| f. | Plantas de ferrocemento..... | 20 |
| 5. | Beneficios | 20 |
| C. | BIOGÁS..... | 20 |
| 1. | Propiedades del biogás..... | 20 |
| 2. | Usos del biogás | 21 |
| 3. | Consumo de biogás en estufas | 22 |
| D. | BIOABONO | 22 |
| 1. | Propiedades del bioabono | 22 |
| 2. | Usos | 23 |
| E. | BIOMASA..... | 23 |
| 1. | ¿Qué es la biomasa?..... | 23 |
| 2. | Fuentes de biomasa | 24 |
| a. | Plantaciones energéticas | 24 |
| b. | Residuos forestales..... | 24 |
| c. | Desechos agrícolas..... | 24 |
| d. | Desechos industriales..... | 24 |
| e. | Desechos urbanos..... | 24 |
| 3. | Formas de aprovechar la biomasa..... | 25 |
| F. | DESECHOS SÓLIDOS EN GUATEMALA | 25 |

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Desechos sólidos generados..... | 25 |
| G. | USO DE LEÑA EN GUATEMALA..... | 27 |
| 1. | Impacto ambiental..... | 27 |
| 2. | Riesgos a la salud..... | 28 |
| H. | ANTECEDENTES COMUNIDAD..... | 28 |
| 1. | Historia..... | 28 |
| 2. | Geografía..... | 30 |
| a. | Localización..... | 30 |
| b. | Croquis comunitario..... | 31 |
| c. | Diversidad de cultivos y árboles..... | 32 |
| d. | Clima..... | 32 |
| 3. | Datos poblacionales..... | 32 |
| a. | Población..... | 32 |
| b. | Distribución de la población de la comunidad por sexo y por edad..... | 33 |
| c. | Idiomas..... | 33 |
| V. | METODOLOGÍA..... | 34 |
| A. | RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 34 |
| B. | ESTUDIO SOCIOECONÓMICO..... | 34 |
| C. | DISEÑO DEL BIODIGESTOR..... | 34 |
| VI. | RESULTADOS..... | 35 |
| A. | CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDAD..... | 35 |
| 1. | Socioeconómica..... | 35 |
| 2. | Desechos generados por familia promedio..... | 36 |
| B. | BIODIGESTOR A UTILIZAR..... | 37 |
| C. | MEDIDAS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO..... | 39 |
| 1. | Medidas de seguridad..... | 39 |
| 2. | Mantenimiento..... | 40 |
| D. | COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTOR..... | 41 |
| VII. | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 42 |

| | | |
|-------|--|----|
| VIII. | CONCLUSIONES | 43 |
| IX. | RECOMENDACIONES | 44 |
| X. | BIBLIOGRAFÍA | 45 |
| XI. | ANEXOS | 47 |
| A. | ANEXO 1 | 47 |
| 1. | Encuesta para el diseño de un biodigestor unifamiliar..... | 47 |
| B. | ANEXO 2..... | 49 |
| C. | ANEXO 3 | 52 |
| 1. | Dimensiones del biodigestor..... | 52 |
| a. | Medidas de la zanja del biodigestor..... | 53 |
| b. | Volumen esperado de biogás | 55 |
| D. | ANEXO 4 | 56 |
| E. | ANEXO 5 | 58 |
| XII. | GLOSARIO | 61 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Valores promedios aproximados de la relación C/N de algunos residuos | 9 |
| Tabla 2. Composición química del biogás | 21 |
| Tabla 3. Energía equivalente biogás vs otras fuentes | 21 |
| Tabla 4. Análisis químicos compost vs bioabono..... | 23 |
| Tabla 5. Número de viviendas y familias | 32 |
| Tabla 6. Distribución de la población por sexo y edad..... | 33 |
| Tabla 7. Idiomas que se hablan en la aldea..... | 33 |
| Tabla 8. Desechos orgánicos de cocina por una familia promedio a diario..... | 36 |
| Tabla 9. Desechos pecuarios promedio por animal diarios..... | 36 |
| Tabla 10. Rastrojos del maíz promedio por cuerda | 36 |
| Tabla 11. Total de desechos orgánicos y sólidos totales producidos a diario..... | 37 |
| Tabla 12. Costo total de instalación biodigestor tubular de polietileno..... | 41 |
| Tabla 13. Parámetros según el ancho de rollo | 53 |
| Tabla 14. Longitud del biodigestor según el Ancho de Rollo..... | 54 |
| Tabla 15. Medidas de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)..... | 54 |
| Tabla 16. Volumen esperado de biogás al día | 55 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Proceso de digestión anaeróbica..... | 5 |
| Figura 2. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesófilicos | 7 |
| Figura 3. Planta de cúpula fija y planta con acceso | 15 |
| Figura 4. Planta de tambor flotante..... | 16 |
| Figura 5. Planta de polietileno tubular | 16 |
| Figura 6. Planta globo..... | 19 |
| Figura 7. Plantas horizontales | 20 |
| Figura 8. Estimación de desechos sólidos domiciliarios generados..... | 25 |
| Figura 9. Estimación de sólidos domiciliarios generados por departamento. | 26 |
| Figura 10. Composición de los residuos sólidos domiciliarios en el departamento de Retalhuleu. 26 | |
| Figura 11. Contribución porcentual de los principales emisores de gases orgánicos reactivos..... | 27 |
| Figura 12. Contribución porcentual de los principales emisores de gases orgánicos | 28 |
| Figura 13. Croquis aldea Francisco Vela..... | 31 |
| Figura 14. Diversidad de árboles y cultivos de la aldea..... | 32 |
| Figura 15. Medidas de zanja | 54 |
| Figura 16. Características de los estiércoles | 56 |
| Figura 17. Características de otros materiales orgánicos de origen animal | 56 |
| Figura 18. Sólidos totales en sustratos diferentes | 56 |
| Figura 19. Material Sólido (MST) y Material Orgánico Sólidos (MSO) de algunos..... | 57 |
| Figura 20. Valores del porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles | 57 |
| Figura 21. Biogás producido en función de los sólidos volátiles..... | 57 |
| Figura 22. Esquema básico de biodigestor tubular unifamiliar..... | 58 |
| Figura 23. Esquema zanja..... | 58 |
| Figura 24. Esquema reactor | 59 |
| Figura 25. Esquema poza entrada/salida..... | 59 |
| Figura 26. Esquema básico invernadero | 59 |
| Figura 27. Reactor con tubos de entrada y salida | 60 |
| Figura 28. Biodigestor instalado, con invernadero | 60 |

RESUMEN

En el presente documento se presentará el diseño de un biodigestor unifamiliar con un estudio socioeconómico en la aldea Francisco Vela, ubicada en el municipio de San Felipe del departamento de Retalhuleu. Estableciendo el modelo de biodigestor que se adaptó mejor a la familia promedio de la aldea, tanto en generación de desechos orgánicos, uso de leña, suministro de agua y espacio para su construcción. Además se detallan los costos de su implementación y analiza si la familia promedio de la aldea es capaz de costearlo. Los biodigestores en la aldea servirán para tener un manejo adecuado de desechos orgánicos producidos por cada familia; se beneficiarán al obtener bioabono que puede ser utilizado para mejorar la calidad del suelo de sus cultivos y biogás que puede ser utilizado en la cocción de alimentos, reduciendo el uso de leña, ayudando a prevenir enfermedades respiratorias en las personas que están expuestas al humo de leña. Al utilizar un biodigestor se logra tener un adecuado manejo de desechos orgánicos generados por las familias y así reducir la basura que se tira en ríos y terrenos baldíos que se encuentran en la aldea, previendo las enfermedades que esta contaminación pueda causar a los pobladores, además al reducir el uso de leña para cocción de alimentos será beneficioso para el medio ambiente y evitara la producción de gases dañinos para la salud.

I. INTRODUCCIÓN

Todos los días generamos toneladas de basura por distintas actividades que realizamos, cuando la basura inicia su proceso natural de descomposición emite diferentes gases que afectan al medio ambiente y lo contaminan, este es un problema presente en Guatemala. La tala de árboles para usar como leña es otro problema frecuente en nuestro país, la combustión de esta aporta el mayor porcentaje de gases orgánicos reactivos; al utilizar leña en cocción de alimentos las personas se exponen a humo que puede ser dañino para su salud, provocando enfermedades respiratorias en el núcleo familiar principalmente en mujeres y niños que se encuentran expuestos durante más tiempo, además se crea una tala de árboles descontrolada que afectara los ecosistemas. La presente investigación es sobre el diseño de un biodigestor unifamiliar en una Aldea.

La aldea Francisco Vela se encuentra en el municipio de San Felipe Retalhuleu, conformada por 500 familias, es una comunidad con actividades agrícolas, teniendo como cultivo principal el maíz, y actividades pecuarias, criando principalmente pollos y patos. Las familias de la comunidad no carecen de agua, algunas tienen pozos y otras tienen agua entubada. Por cultura, las familias dentro de la aldea utilizan leña para la cocción de alimentos, teniendo algunas sus cocinas en lugares cerrados lo que no permite una buena ventilación, provocando la inhalación de humo. Tampoco se tiene una buena gestión de desechos ya que, pocas familias utilizan el tren de aseo, otras tiran la basura en sus terrenos provocando malos olores, otras la queman provocando contaminación en el aire y algunos desechos llegan a los ríos convirtiéndolos en focos de contaminación y proliferación de enfermedades. En la aldea no se cuenta con servicio de drenaje entubado por lo que utilizan fosas sépticas.

Para contrarrestar algunos de los problemas en la aldea se vio la oportunidad de utilizar biodigestores unifamiliares para controlar la contaminación que se genera por cada familia y aprovechar los beneficios que el mismo genera, minimizando el impacto negativo que se tiene actualmente en el medio ambiente. Los biodigestores son contenedores totalmente herméticos donde se lleva a cabo la degradación de desechos orgánicos de forma anaeróbica totalmente controlada y los gases que se producen durante esta degradación pueden ser utilizados como suplemento de la leña en la cocción de alimentos, también se genera bioabono que puede ser utilizado para mejorar la calidad de los suelos donde se cultiva. Además de aprovechar los desechos orgánicos se crea un buen manejo de ellos.

La investigación fue mixta y se realizó la recolección de datos cualitativos primero y luego los datos cuantitativos; se realizaron observaciones, encuestas y entrevistas para definir las características de la comunidad y las familias que la conforman para saber las condiciones de vida que tienen. Estableciendo la cantidad de desechos que estas generan al día y el espacio disponible en el terreno para establecer el tipo y dimensiones del biodigestor; tomando en cuenta las medidas de seguridad que se deben establecer para evitar cualquier accidente y tener un uso adecuado del mismo.

Se presentan las características socioeconómicas de la familia promedio de la aldea y el costo total de implementar el biodigestor, para luego analizar si las familias podrán pagarlo sin financiamiento externo.

Con el fin de adentrarnos más en el tema y poder entenderlo mejor en el marco teórico podremos encontrar que es el proceso de degradación anaeróbico que tienen los desechos en el biodigestor, así como los tipos de plantas que hay, parámetros que influyen en el biodigestor, los beneficios de aplicarlo, los productos que se obtienen, al igual que los niveles de contaminación de los desechos sólidos generados en Guatemala, la contaminación que causa el uso de leña y la historia de la aldea. Mientras que en el marco metodológico se menciona como se obtuvieron todos los datos para desarrollar la investigación y cumplir con los objetivos de la misma.

Para luego en los resultados presentar lo que se obtuvo con la investigación y se ve el cumplimiento de cada uno de los objetivos, se muestra la caracterización socioeconómica y los desechos generados por familia promedio. Se establece el biodigestor que se adaptó mejor a la caracterización, dimensiones que deberá tener, medidas de seguridad a cumplir y el mantenimiento que se debe realizarse. Se incluyen los materiales que se deben utilizar para construirlo y el costo de implementarlo.

Luego se realiza un análisis de los resultados obtenidos con investigación, se explican los parámetros que se tomaron en cuenta al realizar la elección del diseño y posibles inconvenientes que algunas familias pueden tener con este diseño de biodigestor. Se analiza el tipo de alimentación que deberá tener el biodigestor y el tiempo de retención.

En las conclusiones y recomendaciones se dan opiniones sobre la investigación en la aldea, además se menciona como podrían pagar este biodigestor, también se da una conclusión a cada objetivo planteado. Para finalizar se adjuntan cinco anexos que contienen el modelo de encuesta que se utilizó, las gráficas más relevantes de las encuestas realizadas, los cálculos para las dimensiones del biodigestor, las tablas que se usaron y algunos esquemas que complementan el diseño del biodigestor.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

Diseñar un biodigestor unifamiliar que se adapte a las condiciones de las familias en la comunidad y realizar el estudio de factibilidad socioeconómico en la aldea Francisco Vela ubicada en el municipio de San Felipe del departamento de Retalhuleu para saber si disponen de los recursos económicos para implementarlo.

B. ESPECÍFICOS

- Definir las características de la comunidad y las familias que viven en ella para saber las condiciones de vida que tienen.
- Determinar la cantidad de desechos orgánicos que en promedio produce una familia al día y el espacio que disponen para establecer el tipo y dimensiones del biodigestor.
- Establecer los ingresos promedio que tiene cada familia en la comunidad para saber si tienen las posibilidades de implementar un biodigestor.
- Elaborar las medidas de seguridad que se deben cumplir al tener un biodigestor para evitar accidentes y tener un adecuado uso del biodigestor.
- Calcular el costo de este diseño de biodigestor para saber si las familias lo pueden implementar sin financiamiento externo.

III. JUSTIFICACIÓN

La aldea Francisco Vela está conformada por 3,365 habitantes aproximadamente, según censo 2015. La mayoría de los habitantes de la comunidad tienen actividades agrícolas y pecuarias ya que, es parte de su cultura, pero no tienen un manejo adecuado de los desechos que estas actividades generan causando un mal olor, moscas y supone un foco de infección. Al no tener un tren de aseo establecido las personas dentro de la comunidad tiran sus desechos en terrenos baldíos abriendo basureros clandestinos y también los botan en los riachuelos. Esto provoca una gran contaminación dentro de la aldea trayendo como consecuencia enfermedades, en su mayoría diarreas.

En la aldea se utiliza leña para la cocción de alimentos ya que, es un material al alcance de la población, sin embargo, el humo provocado por la combustión de leña es dañino para las personas que están expuestas a él, corriendo el riesgo de padecer enfermedades respiratorias, el uso de leña causa también un impacto negativo en el medio ambiente al tener una tala de árboles descontrolada. Por lo que se crea la necesidad de empezar a tener un manejo adecuado de desechos orgánicos y reducir el uso de leña en la aldea.

Una alternativa para reducir la emisión de humo de leña y tener un manejo adecuado de desechos orgánicos son los biodigestores, ya que funcionan por medio de la descomposición anaerobia de desechos orgánicos que comúnmente son tirados a la basura.

Para diseñar un biodigestor es necesario saber la cantidad de desechos orgánicos que tendremos disponibles al día, el espacio que se tendrá para poderlo construir, y otros aspectos necesarios para realizar un diseño que se adapte a las familias de la aldea, con biodigestor se podrá generar biogás y reducir el uso de leña para cocción de alimentos mejorando la calidad de vida de las personas, además el bioabono generado se usa para mejorar la calidad del suelo. Uno de los factores que influye en la construcción y el diseño de un biodigestor es la capacidad económica que tiene la familia para poder pagarlo; por lo que tendremos que asegurarnos que la opción de implementar un biodigestor sea factible socioeconómicamente para la familia ya que, muchas veces por cuestiones culturales no son aceptados, a pesar de los beneficios que puede tener.

Al utilizar un biodigestor se crea un manejo adecuado de desechos orgánicos evitando que estos lleguen a vertederos y generen gases contaminantes, se evitaría que estos desechos llegaran a los ríos de la aldea y puedan ser un foco de contaminación para el desarrollo de enfermedades. Además al no depender tanto de la leña para cocción de alimentos, la tala de árboles puede disminuir y también se genera ahorros en el núcleo familiar al reducir el consumo de combustibles fósiles.

IV. MARCO TEÓRICO

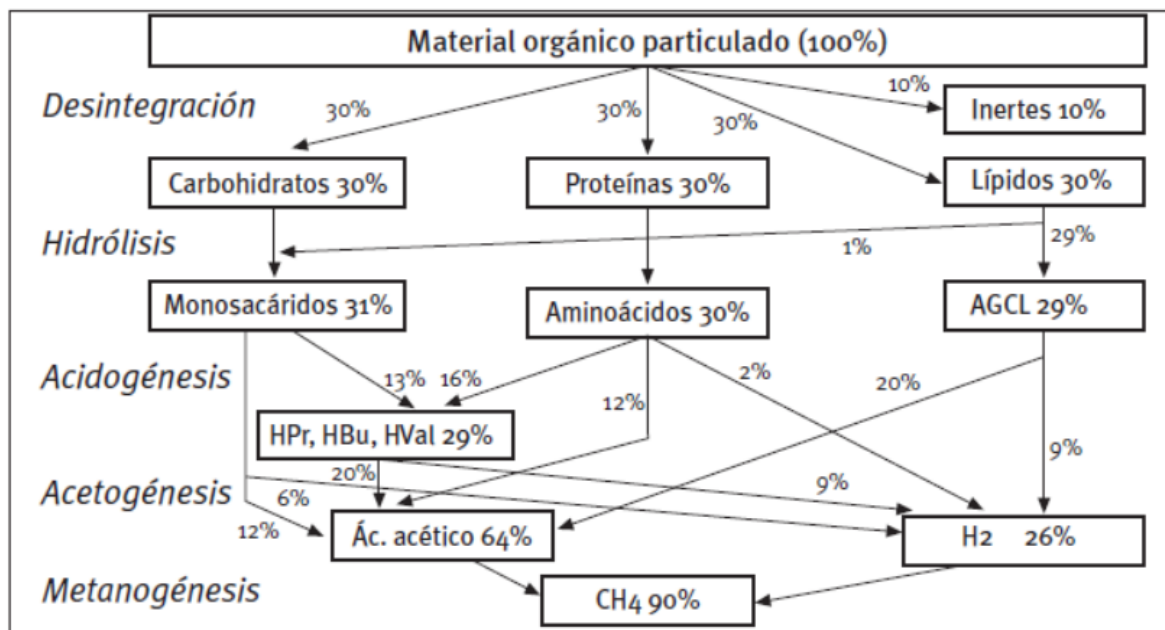
A. DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica es un proceso por el cual bacterias degradan los desechos orgánicos generando gases como el metano y dióxido de carbono. Este proceso microbiológico se lleva a cabo en ausencia del oxígeno, es posible degradar estiércoles, residuos vegetales, darle tratamiento a las aguas residuales por medio de esta digestión (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2011).

Cuando se ingresan los desechos orgánicos al digestor estos llevan oxígeno, Hay bacterias que al principio de la degradación se alimentan del oxígeno que ha ingresado por medio de los desechos orgánicos y crean el alimento de las siguientes bacterias que solo pueden sobrevivir sin oxígeno. Por lo que la degradación total de los desechos orgánicos en la digestión anaeróbica está dividida en fases: Desintegración e hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

1. Etapas. El proceso de digestión anaeróbica se divide en las siguientes fases: Desintegración e hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

Figura 1. Proceso de digestión anaeróbica



Fuente: (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007)

a. **Desintegración e hidrólisis.** En esta etapa se lleva a cabo por enzimas extracelulares.

Durante la desintegración los desechos orgánicos se dividen en sus compuestos biodegradables (proteínas, carbohidratos y lípidos), si la superficie de la partícula es menor la tasa de desintegración será mayor (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

En la hidrólisis las cadenas de proteínas, carbohidratos y lípidos son descompuestas en partes más cortas, y se obtiene aminoácidos, péptidos, monosacáridos, alcoholes, glicerol y ácidos grasos de cadena larga (AGCL). Parte de los aminoácidos generados son degradados a ácidos volátiles.

b. **Acidogénesis.** También es llamada fermentación, en esta etapa se fermentan las moléculas orgánicas solubles y se obtienen ácidos grasos solubles (propionico, butírico, láctico, valerato), ácido acético, ácido fórmico etanol, H₂ y CO₂. Todos los compuestos orgánicos generados en esta etapa servirán de alimento a las bacterias que actuarán posteriormente, aquí se elimina cualquier traza de oxígeno disuelto en el sistema (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

c. **Acetogénesis.** El ácido acético y H₂ generados en la etapa anterior pueden servir de alimento para los organismos metanogénicos, mientras que los ácidos grasos volátiles, el etanol y otros deben ser convertidos en acetato y H₂ por medio de bacterias acetogénicas.

La generación de acetato se da por dos rutas diferentes: La Deshidrogenación acetogénica que consiste en producir acetato por medio de la fermentación de ácidos volátiles. Y la Hidrogenación acetogénica en donde las bacterias homoacetogénicas sintetizan acetato a partir de hidrogeno y dióxido de carbono esto permite mantener presiones bajas parciales de hidrogeno. A la última etapa ingresarán hidrogeno, dióxido de carbono y acetato (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

d. **Metagénesis.** Las bacterias que actúan en esta última etapa son estrictamente anaeróbicas, las arqueas metanogénicas se encargan de completar el proceso de la digestión anaeróbica y forman metano (CH₄) a partir de acetato, H₂, CO₂, ácido fórmico, metanol y algunas metilaminas (FAO, 2011).

Las arqueas metanógenas se establecen en dos grupos (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014):

- Arqueas metanógenas hidrogenotróficas estas consumen H₂, CO₂ y ácido fórmico. La presencia de estas ayuda en el proceso de digestión anaerobia ya que elimina el H₂, y mantiene la presión parcial del mismo en niveles que son adecuados para la producción de acetato en las etapas anteriores.
- Arqueas metanógenas acetoclásticas que consumen acetato, metanol y algunas metilaminas.

2. **Parámetros que influyen en la digestión anaeróbica.** En la digestión anaeróbica actúan diferentes microorganismos que hacen posible la descomposición de los desechos orgánicos, durante las etapas van apareciendo microorganismos que generan el alimento para las siguientes fases, el crecimiento y aparición de estos depende de diferentes parámetros.

a. **Nutrientes.** Los residuos orgánicos deben tener una gran variedad de nutrientes que permitan el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos durante el proceso de digestión anaeróbica. Los nutrientes se pueden clasificar según la cantidad requerida en:

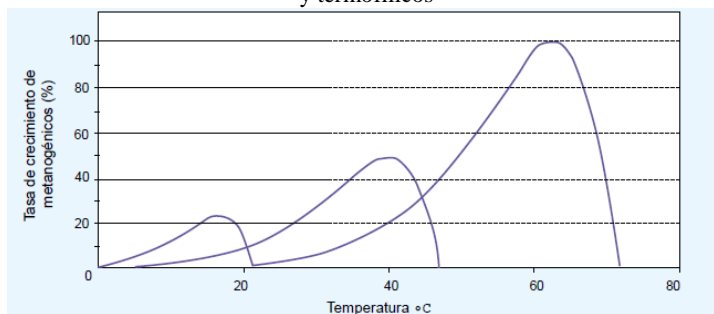
- **Macronutrientes:** carbono, nitrógeno, hidrogeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio y calcio.
- **Micronutrientes inorgánicos:** hierro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno, cobalto, níquel, cloro, sodio, boro, sílice y wolframio.
- **Micronutrientes orgánicos:** aminoácidos, vitaminas, purinas y pirimidinas.

Para poder tener una relación de nutrientes equilibrada se debe de conocer bien los residuos que se introducirán al biodigestor y así poder compensar los nutrientes que hacen falta para que la digestión se lleve adecuadamente (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

b. **Temperatura.** La temperatura influye en el crecimiento de los microorganismos y en la velocidad de los procesos de digestión anaeróbica. Así que, si la temperatura aumenta los microorganismos crecen rápidamente y el proceso de descomposición de los residuos se acelera. Es por esto que la temperatura en el digestor es un parámetro que se debe tomarse en cuenta cuando se diseña (Marti, 2002). Los microorganismos anaerobios pueden operar en tres rangos de temperatura (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014):

- **Psicrófilos** con temperatura debajo de 25 °C con un tiempo de retención de más de 100 días.
- **Mesófilos** entre 25 a 45°C con un tiempo de retención de 30 a 60 días.
- **Termófilos** entre 45 y 60°C con un tiempo de retención de 10 a 15 días.

Figura 2. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesofílicos y termofílicos



Fuente: FAO, 2011

c. **Sólidos totales y sólidos volátiles.** La materia orgánica se compone por agua y una parte sólida a la que se llama sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales en la mezcla que se cargara al biodigestor es importante para que el proceso de digestión se realice correctamente, cuando hay gran cantidad de sólidos totales dentro del biodigestor el crecimiento de bacterias se ve limitado y afecta la eficiencia del mismo.

Por lo que se recomienda un porcentaje de sólidos totales según el tipo de biodigestor que se utilice. Los biodigestores de alimentación por lotes pueden operar con un 40 a 60% de sólidos totales porque la carga se realiza solo una vez al igual que la descarga y los sólidos tiene más tiempo para descomponerse; mientras que en un biodigestor semi-continuo la carga es diaria o cada dos días por lo que la cantidad de solidos que puede digerir es menor, entre 8% a 12% de sólidos totales (FAO, 2011).

Saber la cantidad de sólidos volátiles que tienen los desechos orgánicos nos servirá para determinar la cantidad de agua que debemos agregar a los desechos y así tener el porcentaje adecuado de ST en el biodigestor.

Los sólidos volátiles (SV) son el porcentaje de sólidos totales que se liberan de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Estos son los que teóricamente son convertidos en metano (FAO, 2011).

d. **pH.** El cambio pequeño en los niveles de pH afecta negativamente al proceso anaeróbico, los microorganismos más sensibles a estos cambios son las arqueas metanógenas.

El pH tiene que ser neutral, para que el proceso de digestión anaeróbica se lleve satisfactoriamente puede oscilar de 6 – 8. Cuando se da un descenso del pH la generación de metano es pobre por lo que el biogás tiene menores cualidades energéticas (FAO, 2011).

Los cambios del pH pueden producirse por la sobrecarga orgánica del biodigestor, al tener cantidades elevadas de ácidos grasos volátiles (AGV) estos se acumulan en el biodigestor disminuyendo el pH, ya que, las bacterias metanógenicas tienen velocidades de crecimiento menores a las bacterias de las etapas anteriores y no pueden consumir todos los AGV generados en las etapas anteriores. Para resolver el problema se debe reducir la carga orgánica (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

La alcalinidad puede neutralizar los AGV cuando se empiezan a acumular en el biodigestor y mantener el pH neutral. También se puede aumentar la alcalinidad para neutralizar el pH, para suplementar alcalinidad se puede utilizar bicarbonato de sodio por su baja toxicidad y alta solubilidad (FAO, 2011).

e. **Relación C/N.** Los microorganismos metanogénicos se alimentan principalmente de carbono e hidrogeno. La fuente de energía es el carbón mientras que el nitrógeno es usado para formar nuevas células. La relación óptima de estos elementos está en el rango de 30:1 a 20:1, ya que los microorganismos consumen más carbono. Cuando se tiene un alto contenido de carbono (35:1) en los desechos orgánicos que ingresan al biodigestor el proceso de producción de biogás se prolonga, pero si se tiene un bajo contenido de carbono (10:1) el proceso puede detenerse por el alto contenido de amonio (FAO, 2011).

Por lo que necesitas tener una relación C/N adecuada para no afectar el proceso de digestión, si nuestros desechos orgánicos no tienen una relación de C/N adecuada se deberá de realizar una mezcla de desechos para que la relación C/N sea la óptima.

Tabla 1. Valores promedios aproximados de la relación C/N de algunos residuos disponibles en el medio rural.

| Materiales | % C | % N | C/N |
|---------------------------|-----|------|-------|
| Residuos animales | | | |
| Bovinos | 30 | 1.30 | 25:1 |
| Equinos | 40 | 0.80 | 50:1 |
| Ovinos | 35 | 1.00 | 35:1 |
| Porcinos | 25 | 1.50 | 16:1 |
| Caprinos | 40 | 1.00 | 40:1 |
| Conejos | 35 | 1.50 | 23:1 |
| Gallinas | 35 | 1.50 | 23:1 |
| Patos | 38 | 0.80 | 47:1 |
| pavos | 35 | 0.70 | 50:1 |
| Excretas humanas | 2.5 | 0.85 | 3:1 |
| Residuos vegetales | | | |
| Paja trigo | 46 | 0.53 | 87:1 |
| Paja cebada | 58 | 0.64 | 90:1 |
| Paja arroz | 42 | 0.63 | 67:1 |
| Paja avena | 29 | 0.53 | 55:1 |
| Rastrojos maíz | 40 | 0.75 | 53:1 |
| Leguminosas | 38 | 1.50 | 28:1 |
| Hortalizas | 30 | 1.80 | 17:1 |
| Tubérculos | 30 | 1.50 | 20:1 |
| Hojas secas | 41 | 1.00 | 41:1 |
| Aserrín | 44 | 0.06 | 730:1 |

Fuente: FAO, 2011

f. **Tiempo de retención y velocidad de carga orgánica.** Estos son parámetros son importantes para el diseño, con estos se puede definir el volumen del biodigestor. Las bacterias necesitan tiempo para degradar los desechos orgánicos, la velocidad de degradación depende mucho de la temperatura, si la temperatura es mayor el tiempo de retención es menor. El tiempo de retención tiende a variar dependiendo la temperatura del lugar donde se instalara el biodigestor. Durante el tiempo de

retención se debe garantizar el crecimiento de la población bacteriana, si aumenta el tiempo de retención también aumenta el grado de desechos orgánicos degradados, pero esto siempre debe ir en relación con la temperatura.

A la cantidad de desechos orgánicos ingresados diariamente al biodigestor por unidad de volumen se le llama velocidad de carga orgánica, y depende del volumen del biodigestor y el tiempo de retención. Es utilizado para un sistema de carga continuo y se puede calcular con la siguiente relación (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014):

$$\frac{\text{Volumen del biodigestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}} = \text{Volumen de carga diaria m}^3\text{/día}$$

g. **Potencial redox.** El potencial redox debe mantenerse entre -220mV a -350mV a pH 7.0 para crear el ambiente fuertemente reductor que necesitan las bacterias metanogénicas para su óptimo funcionamiento (FAO, 2011).

h. **Oxígeno.** La digestivo anaeróbica requiere la intercesión de diferentes grupos de microorganismos o bacterias, y algunos detienen su proceso al estar en contacto con el oxígeno ya que, son estrictamente anaeróbicos. Es por esto que se debe asegurar que habrá entrada de oxígeno al proceso de digestión cuando ya se halla iniciado (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2014).

3. **Productos de la digestión anaeróbica.** Los desechos orgánicos al pasar por la digestión anaerobia han sufrido una degradación, al finalizar el proceso de digestión nos deja dos productos principales (ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, 1985):

- El biogás que es un gas compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono, el porcentaje de metano dependerá de la mezcla de desechos orgánicos usados en la digestión.
- El bioabono que puede ser utilizado para nutrición del suelo, siendo un abono orgánico de buena calidad.

B. BIODIGESTORES

1. **Historia.** La descomposición anaeróbica de materia orgánica es un proceso natural que se ha realizado durante años, un claro ejemplo son los pantanos donde la descomposición se realiza bajo la superficie del agua y los gases resultantes suben a la superficie en forma de burbujas, en 1770 el italiano Volta empezó a recolectar estos gases para investigar su comportamiento ante el fuego; y luego en 1821 Avogadro identificó el Metano (CH_4).

Louis Pasteur investiga que mediante la fermentación de desechos de origen animal se obtiene biogás y puede ser utilizado en alumbrados públicos (1884). En 1900 en Bombay, India se construye el primer biodigestor utilizando estiércol de vaca para su funcionamiento. Empiezan a investigar cómo tratar las aguas residuales y en 1906 se tiene la primer planta de tratamiento anaeróbico para aguas residuales en Alemania, 1913 se logra tener un digestor anaeróbico con instalaciones de calefacción.

La Primera Guerra Mundial deja muchos impactos negativos entre ellos los problemas sanitarios, y durante la misma se hizo evidente la necesidad más fuente de energía para satisfacer a la creciente población mundial, en 1920 Alemania tiene la primer planta de tratamiento de aguas residuales que recolecta el biogás a un sistema de suministro de gas público y en 1923 se satisface la demanda de energía mediante la red pública de distribución de biogás. En la India en 1939 se inaugura una unidad para experimentos con la utilización del biogás (Guevara, 1996).

En la Segunda Guerra Mundial los combustibles empezaron a escasear por lo que se iniciaron a crear pequeñas plantas rurales de biogás, en 1950 en Alemania se crea la primera instalación Agrícola de biogás, ya que, en 1947 se demostró que la descomposición anaeróbica de excretas de vaca generaban más metano y en 1950 se instala la primera planta agrícola de biogás más grande en Alemania, durante los siguientes años se construyeron plantas alimentadas por basura orgánica, agua y estiércol (Kossmann & Pönitz, Biogas Digest volumen I, basic biogas, 1999).

Cuando se dio la primera crisis energética en 1974 en Alemania se condujo al desarrollo de plantas de metano en zonas rurales, y el gas era utilizado para tractores de potencia. La tecnología se extendió por Europa occidental actualmente hay agricultores que siguen utilizarlos biodigestores para la producción de metano (Fry, s.f.).

En Centroamérica en el año de 1979, a raíz de la gran dependencia que hay en la región de utilizar leña para la cocción de alimentos y ante la preocupación por la destrucción de los bosques el ICAITI y La Oficina Regional de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID) iniciaron el proyecto “Leña y Fuentes Alternas de Energía”. El proyecto duró 8 años, durante los cuales se construyeron varios

biodigestores en casi toda Centroamérica, probando así los beneficios que los mismos brindan en zonas rurales (ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, 1988).

Durante los años 90 se empezaron a realizar diferentes mezclas de desechos orgánicos que mejoraban la producción del metano y se le encontraron más usos al biogás, en 1997 ya había más de 400 plantas agrícolas de biogás en Alemania.

Una de las fundaciones que ha promovido el uso de biodigestores en Guatemala es la Fundación Solar por medio del Proyecto Usos Productivos de la Energía Renovable en Guatemala (PURE) apoyado por diferentes entidades del gobierno, siendo el objetivo promover el uso de energías renovables en diferentes comunidades, trabajando el proyecto en Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Quiché, San Marcos y Huehuetenango según informe del año 2013 (De la Parra & Altamirano, 2013).

En la actualidad el foco de investigación de los biodigestores y el biogás está en la India, impulsado por la necesidad de elevar el nivel de vida de la población rural pobre (Fry, s.f.). Sin embargo, hay muchos países que los utilizan como una alternativa de energía renovable, el uso de biodigestores se ha utilizado desde hace mucho tiempo, y es una manera de gestión de residuos orgánicos muy eficaz, además ayuda al desarrollo económico sostenible. Las experiencias de Alemania, China e la India han demostrado que esta tecnología trae muchos beneficios.

2. ¿Qué es un biodigestor y cómo funciona? Es un contenedor completamente cerrado donde se deposita una mezcla de agua con desechos orgánicos (biomasa) para su descomposición anaeróbica, al descomponerse genera dos productos: el biogás y bioabono (fertilizante).

La estructura básica de un biodigestor es y funcionamiento de cada parte:

- Depósito de carga: Aquí se deposita la biomasa que ingresará al proceso de descomposición anaeróbica
- Cámara de fermentación o reactor: La biomasa se descompone y empieza a generar biogás y bioabono.
- Agitador de biomasa: Es utilizado para mover la biomasa dentro de la cámara de fermentación y la descomposición sea más eficiente (algunos diseños de biodigestores no lo incluyen).
- Almacén de biogás: Es donde se deposita el biogás que se genera de la descomposición, para luego ser utilizado.
- Tuberías de gas: Estas se utilizan para conducir el biogás del almacén a donde se desee utilizar.
- Depósito de descarga: Es donde sale el bioabono después de haber pasado por la descomposición en la cámara de fermentación.

3. **Tipos de biodigestores.** Hay diferentes tipos de biodigestores, en relación al método de alimentación se pueden distinguir tres tipos (Kossman & Pönitz, Biogas Digest volumen II, Biogas-Application and Product Development, 1999):

- Por lotes
- Semi-continuos
- Continuos

a. **Por lotes.** Estas plantas se llenan y se vacían por completo después de un tiempo de retención fija, la materia se saca cuando ya se ha dejado de producir gas y luego se vuelven a llenar para iniciar con un nuevo proceso de fermentación. Se utiliza cuando la materia orgánica es limitada o intermitente, requieren de poca atención diaria, la salida de gas no es constante, aunque se requiere de energía y tiempo para cargarlos y vaciarlos (Fry, s.f.).

b. **Semi-continuos.** En estos en la primera carga se introduce una gran cantidad de materia orgánica, luego se sigue llenando por lapsos de 12 horas, 1 vez al día o cada dos días, según sea la disponibilidad de la materia orgánica y el cálculo realizado en función del tiempo de retención y el volumen total de la planta. Estos se vacían en la misma cantidad de la carga realizada. Son muy utilizadas para fines sanitarios o de producción, además proporcionan contantemente gas y bioabono (Matton, 2012).

c. **Continuos.** Estas plantas se alimentan y vacían continuamente, siendo un proceso ininterrumpido, se utiliza principalmente para el tratamiento de aguas negras. Se vacía automáticamente por medio de un desbordamiento cada vez que ingresa nuevo material. Son plantas de gran escala, usadas industrialmente por la constante producción de biogás y bioabono. En algunos casos se utiliza calefacción y agitadores para acelerar el proceso de fermentación, controlando el proceso con alta tecnología (FAO, 2011).

4. **Diseño del biodigestor.** La elección del diseño del biodigestor a utilizar es muy importante, desde el punto de vista de la dinámica de fluidos y la resistencia estructural para que opere correctamente, por lo que un reactor en forma de huevo podría ser la mejor solución posible. Pero estas estructuras son relativamente caras por lo que su uso se restringe a grandes plantas de tratamiento de aguas residuales (Energypedia, s.f.).

En el diseño de un biodigestor se debe cumplir con diferentes características (FAO, 2011):

- Tiene que ser hermético para que no entre aire e interfiera con la digestión anaeróbica, y también impedir fugas del biogás que se produzca.
- Tiene que evitarse los cambios bruscos de temperatura, esto se logra con un aislamiento térmico.

- Tiene que contar con una válvula de seguridad por las presiones que se lleguen a tener con la producción de biogás.
- Se debe garantizar que el sistema se llenar y vaciar.
- Tener algún medio para romper las costras o natas que se forman durante la digestión dentro del reactor.
- Poder realizar mantenimiento.

En los países en desarrollo, la selección del diseño de biodigestor se hace dependiendo de la región en donde se quiera instalar, se tiene que saber las condiciones climáticas específicas del lugar, características económicas de las personas que lo quieren construir y las materias primas con las que se alimentara, así que no hay un diseño específico (Kossman & Pönitz, Biogas Digest volumen II, Biogas-Application and Product Development, 1999).

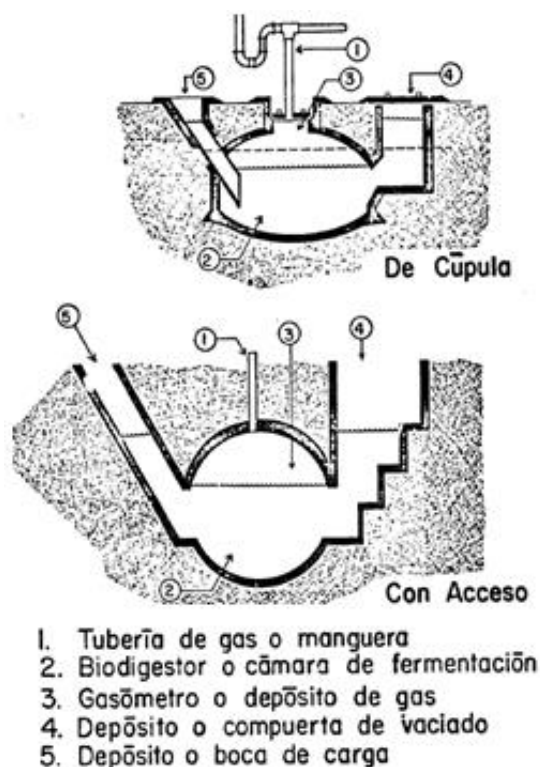
Otros criterios que se deben tomar en cuenta son:

- El espacio que tenemos disponible para construir el biodigestor, esto nos ayuda a determinar si el reactor estará por encima del suelo o bajo tierra, y determinar si será horizontal o vertical.
- El minimizar costes puede ser un criterio importante en el diseño, especialmente cuanto se esperan beneficios monetarios (ahorros) al construir el biodigestor.

Existen diferentes diseños de biodigestores, cada uno con ventajas y desventajas, los más utilizados en el área rural y de pequeña escala son: Plantas de cúpula fija, Plantas de tambor flotante, Plantas de bajo costo de polietileno tubular, Plantas globo, Plantas horizontales, Plantas de la tierra a cielo y Plantas de ferrocemento.

a. Plantas de cúpula fija. También se conocen como modelo chino, es uno de los diseños más utilizados. Este tiene un tanque cilíndrico con techo y piso en forma de domo, se construye enterrado en la tierra. Este no tiene gasómetro, el gas que se genera se almacena en el mismo domo y a medida que aumenta la generación de gas, la presión dentro de biodigestor empuja a los líquidos por el tubo de salida. Se realizar una carga inicial, después se sigue llenando diariamente, el tiempo de retención oscila de 30 a 60 días, vaciándose completamente de una o dos veces al año (FAO, 2011).

Figura 3. Planta de cúpula fija y planta con acceso

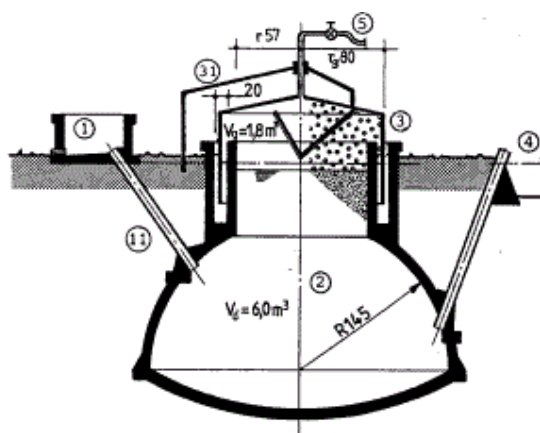


Fuente: ICATI, 1988

Los costos son relativamente bajos ya que, el tiempo de vida útil es de 20 años o más. Estas plantas no tienen partes móviles, ni partes de acero que puedan oxidarse. Al construirse bajo tierra se ahorra espacio, mantiene una temperatura estable y está protegido de daños físicos. La construcción de estas plantas es un trabajo intenso, se construyen con hormigón, mampostería y se tiene que garantizar que las paredes sean impermeables para evitar fugas de líquidos, el espacio de gas tiene que ser impermeable a los gases para evitar cualquier fuga. La construcción de estas plantas tiene que ser bajo supervisión de personas especializadas, además estas generan empleo local (Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999).

b. Plantas de tambor flotante. Estas plantas también están enterradas bajo tierra, consisten en un reactor cilíndrico en forma de cúpula y un tambor móvil donde se almacena el gas. El tambor se construye de metal (por lo regular acero) y se debe pintar con pintura especial para evitar su oxidación, las paredes del reactor se hacen de ladrillo, hormigón o mampostería de piedra. La inversión para instalar este tipo de plantas es alta y se tiene que tener un mantenimiento intensivo por el tambor, la vida útil de estas plantas es de aproximadamente 15 años (Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999).

Figura 4. Planta de tambor flotante



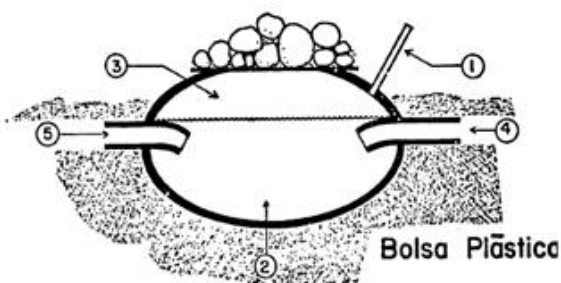
1. Tubería de ingreso
2. Digestor
3. Gasómetro
- 3.1. Bastidor guía
4. Tubería de salida de lodos
5. Tubo de gas

Fuente: Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999

Al tener este tambor se genera una presión constante y se ayuda el rompimiento de espuma que se forma en el reactor. El tambor sube cuando se está generando gas y baja cuando se deja de generar gas (FAO, 2011).

c. Plantas de bajo costo de polietileno tubular. Este se diseño para granjeros de bajos ingresos, fue creado en Taiwan y se popularizo rápidamente por su bajo costo, siendo el que más se utiliza en África, Asia y América latina (Matton, 2012).

Figura 5. Planta de polietileno tubular



1. Tubería de gas o manguera
2. Biodigestor o cámara de fermentación
3. Gasómetro o depósito de gas
4. Depósito o compuerta de vaciado
5. Depósito o boca de carga

Fuente: ICATI, 1988

Está conformado por polietileno o geomembrana de PVC (dos capas de 300 micras) doblada en ambos extremos a un tubo PVC de 6" o más y se amaran con correa de caucho reciclado, obteniendo un tanque aislado herméticamente. Un tubo funciona como entrada y el otro como salida, debido a que el polietileno es flexible se debe excavar una cuneta o zanja donde se acomodará el reactor. Este utiliza gasómetro y es necesario colocarle pesos para aumentar la presión del gas (Energypedia, s.f.).

La parte inferior del reactor se llena con la masa de fermentación que ocupa un 75% del volumen total y el 25% libre se usa como almacén de biogás, es fácil de construir y los costos de construcción son bajos. La vida útil oscila entre 6 a 10 años dependiendo el mantenimiento, tipo de material y si está cubierto contra la intemperie (Martí, 2008).

Con la zanja se puede garantizar la temperatura de operación y protección de factores externos que puedan dañar el polietileno y así aumentar su tiempo de vida., la construcción de la zanja es horizontal con un pequeño grado de inclinación para que los lodos puedan fluir a través del biodigestor (GTZ, Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit, 1987).

Las partes que conforman un biodigestor tubular se describen a continuación:

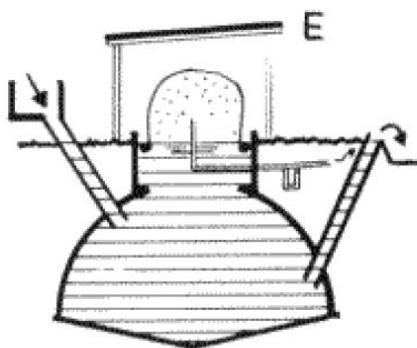
- Poza de entrada. Es donde ingresa la mezcla de desechos orgánicos con agua al reactor para el proceso de digestión anaeróbica. Está conectada por medio de tubería PVC al reactor y se puede construir de concreto.
- Reactor. Es donde se realiza la digestión de la mezcla y se produce el biogás y bioabono. Está compuesto por tres tuberías: una conectada a la poza de entrada, otra a la salida de biogás y otra a la salida de bioabono.
- Poza de salida. Es donde salen el bioabono y los lodos de la digestión, es recomendable construirla de concreto para evitar cualquier filtración. Y su tamaño debe ser igual o mayor al de la carga diaria para evitar derrames.
- Tubería de conducción de gas. Puede usarse manguera PET o tubería PVC, se encarga de llevar el biogás producido en el reactor hacia el gasómetro, esta pasa antes por una válvula de control y luego por la válvula de seguridad. Del gasómetro al quemador que se encuentra en la cocina se utiliza también tubería, que pasa por el filtro de ácido sulfhídrico, por la trampa de llama y luego llega al quemador. La trampa de agua puede ir después de la válvula de seguridad.

- Válvulas de control. En el sistema de conducción del biogás existen válvulas de control para cerrar el paso del biogás en diferentes tramos de la tubería, ya sea por mantenimiento o por fugas en la tubería. La primera válvula se encuentra a pocas pulgadas del primer codo colocado en la tubería de salida, antes de la válvula de seguridad; las otras dos válvulas se encuentran antes de los quemadores, estas sirven para abrir el paso del biogás a cada quemador (CASM, Comisión de Acción Social Menonita, 2011).
- Válvula de seguridad o alivio. Esta sirve para dejar escapar el biogás cuando hay mucha presión en el reactor o gasómetro evitando que estos se dañen o rompan, también sirve como trampa de agua. Se construye con una botella plástica transparente (para controlar el nivel de agua en la misma) y se conecta por medio de una T a la tubería, el nivel de agua no puede pasar los 3 o 4 centímetros a la salida del tubo, si no está no cumple con su función (Cotrina & Villanueva, 2013).
- Trampa de agua. Esta atrapa el agua que se condensa en las tuberías, está construida por medio de una T, y se coloca en la parte más baja de la tubería para cuando se acumule el agua se pueda liberar por medio de la trampa. Es muy importante que no se acumule agua en las tuberías ya que, esta puede obstruir el paso de biogás.
- Trampa de llama. Evita el peligro que la llama pueda regresar del quemador hasta el gasómetro, es importante saber que la llama casi nunca regresa a la tubería ya que, necesita oxígeno para ser quemada. Esta puede hacerse con virutas de metal inoxidable que se coloca en el interior de la tubería, al pasar por los hilos de acero la llama se enfría y apaga, unos 10 centímetros de viruta son suficientes; esta trampa debe ubicarse entre el quemador y el gasómetro (Instituto para un Alternativa Agraria). Hay diferentes tipos de trampas de llamas.
- Techo invernadero. Es una cubierta que se le coloca al biodigestor para protegerlo de daños causados por la intemperie (lluvia, personas, animales, etc.) y ayuda a mantener la temperatura constante en el reactor. Este puede ser construido en forma de cúpula con cubierta de plástico.
- Paredes. Estas ayudan a mantener la temperatura del reactor junto con el techo invernadero. Puede ser construido de adobe, ladrillos o tapial.
- Gasómetro. Es donde se almacena el biogás, es construido de plástico y se deben de evitar dañarlo colocándolo en un lugar seguro, también se puede aumentar la presión de este por medio de pesos o cuerdas.

- Filtro de ácido sulfhídrico. Este purifica el biogás atrapando el ácido sulfhídrico para que no cause corrosión en los quemadores, malos olores o molestias al cocinar. Se puede construir con tubería PVC y en el interior se deposita viruta de hierro como filtro.
- Quemador. Es donde se utiliza el biogás para la cocción de alimentos, estos se pueden construir de arcilla o se puede adaptar una estufa para que pueda funcionar con biogás.

d. Plantas globo. Es la combinación de una planta de tambor flotante (sin el tambor) con una bolsa de plástico o como termosellada, esta bolsa o globo es donde se almacenara el gas y la presión del gas se controla por medio de pesos en el globo. Se utilizan válvulas de seguridad para que no se rompa el globo por tanta presión, el material del globo tiene que ser resistente a la intemperie y a los rayos UV. Tiene un tiempo de vida útil de 2 a 5 años y sus costos son bajos (Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999).

Figura 6. Planta globo

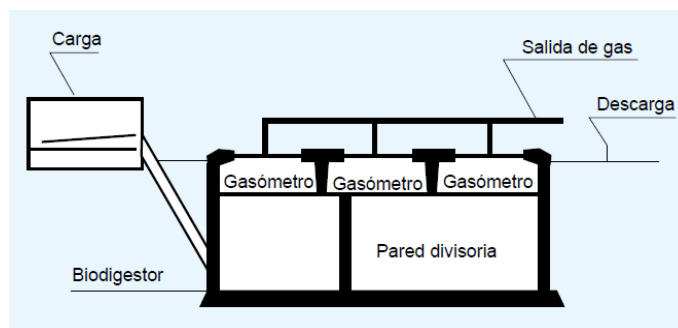


Fuente: Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999

Estas plantas son recomendadas siempre que la superficie del globo no pueda sufrir daños y donde la temperatura sea uniforme, se pueden construir estructuras para protegerla (Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999).

e. Plantas horizontales. Generalmente se construyen enterrados, siendo alargados y pocos profundos parecidos a un canal, tiene relaciones de largo/ancho de 5:1 hasta 8:1. Su sección transversal puede ser cuadrada, circular o en V. Es de tipo semi-continuo. Son recomendados cuando se quiere trabajar con volúmenes mayores de 15m³; la cúpula puede ser de algún material flexible o rígida que no tenga fugas de gas y sea resistente a la intemperie (FAO, 2011).

Figura 7. Plantas horizontales



Fuente: (FAO, 2011)

f. Plantas de ferrocemento. El tipo de construcción de ferro-cemento se puede aplicar a un forro de tierra a cielo, el recipiente generalmente es cilíndrico, son plantas pequeñas menos de 6 m³ pueden ser prefabricados. Al igual que el caso de planta de cúpula fija, el gasómetro requiere medidas especiales de sellado. (Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999).

Se utilizan mallas de alambre de acero, es una técnica que casi no se ha probado y se requiere de cemento de buena calidad (Kossman & Pönitz, Volumen II, 1999).

5. Beneficios. El tener un biodigestor puede generar diversos beneficios, los dividiremos en los siguientes aspectos.

- Ambientales. Se crea conciencia ambiental en los lugares donde se construyen, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero que son producidos por la materia orgánica que se descompone a la intemperie, no se talan árboles para ser usados como leña en la cocción de alimentos se evita la deforestación y ayuda a preservar la flora y fauna del lugar (CASM, Comisión de Acción Social Menonita, 2011). Además se pueden nutrir los suelos con el bioabono generado (FAO, 2011).
- Económicos. Se reduce la compra de fertilizantes químicos (CASM, 2011).

C. BIOGÁS

Es una combinación de gases producidos en la digestión anaeróbica, teniendo en mayor porcentaje el metano y dióxido de carbono, es usado como combustible.

1. Propiedades del biogás. El biogás arde con una llama azul pálido, el porcentaje de metano depende del tipo de desecho orgánico usado en la biodigestión y de las condiciones a las que se efectúa. La proporción de los gases que conforman el biogás se muestran en la siguiente tabla (Olaya, 2009).

Tabla 2. Composición química del biogás

| Componente | | Composición aproximada [%] |
|---------------------|------------------|----------------------------|
| Metano | CH ₄ | 60 - 70 |
| Gas Carbónico | CO ₂ | 30 - 40 |
| Hidrógeno | H ₂ | 1.0 |
| Nitrógeno | N ₂ | 0.5 |
| Monóxido de carbono | CO | 0.1 |
| Oxígeno | O ₂ | 0.1 |
| Ácido sulfúrico | H ₂ S | 0.1 |

Fuente: Oyala, 2009

La densidad de este gas está entre 1.08-1.22 kg/m³. En la siguiente tabla se puede concluir que el propano tiene mayor poder calorífico que el biogás, esto significa que para obtener los mismos rendimientos en donde se quiera sustituir el propano por biogás, es necesario mayor cantidad de biogás.

Tabla 3. Energía equivalente biogás vs otras fuentes

| Valores | Biogás* | Gas Natural | Gas Propano | Gas Metano | Hidrog. |
|---|---------|-------------|-------------|------------|---------|
| Valor Calorífico (Kwh/ m ³) | 7.0 | 10 | 26 | 10 | 3 |
| Densidad (t/m ³) | 1.08 | 0.7 | 2.01 | 0.72 | 0.09 |
| Densidad con respecto al aire | 0.81 | 0.54 | 1.51 | 0.55 | 0.07 |
| Limite de explosión (% de gas en el aire) | 6-12 | 5-15 | 2-10 | 5-15 | 4-80 |
| Temperatura de encendido | 687 | 650 | 470 | 650 | 585 |
| Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s) | 0.31 | 0.39 | 0.42 | 0.47 | 0.43 |
| Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³) | 6.6 | 9.5 | 23.9 | 9.5 | 2.4 |

* Composición promedio del biogás: CH₄ (65%) – CO₂ (35%)

Fuente: FAO, 2011

El biogás no se puede licuar a temperatura ambiente, a diferencia del propano que puede ser almacenado en recipientes pequeños en cantidades relativamente grandes; representando una limitación en el almacenamiento de biogás, por lo que se debe consumir conforme se va produciendo y se aconseja construir los biodigestores lo más cerca posible del lugar donde se usara. (ICAITI, 1985)

2. Usos del biogás. El biogás como cualquier combustible gaseoso puede usarse en diferentes fines, ya sea doméstico o industrial (Olaya, 2009):

- Iluminación
- Calefacción
- En motores diésel o gasolina
- Cocción de alimentos (estufas)
- Generación de electricidad

3. **Consumo de biogás en estufas.** El biogás puede utilizarse en sustitución de leña y gas propano para cocinar alimentos. Al ya no usar leña se evita la inhalación de humo, irritación de los ojos y posibles enfermedades respiratorias, y con el gas propano se pueden crear ahorros al no gastar en su compra.

Se deben tener estufas especiales para poderlas utilizar con este gas, se pueden fabricar estufas de barro o modificar las estufas que normalmente se utilizan con propano. Las estufas de barro son fáciles de construir y tienen un bajo costo. En las estufas de propano se debe de ampliar el doble el agujero del inyector de propano de los quemadores (ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, 1985).

Para tener una llama eficiente, se debe quemar una mezcla de biogás y aire, este aire se debe añadir mediante un agujero en el mismo tubo que transporta el gas para poder producir la mezcla. Además la llama consume aire directo de la atmosfera.

El consumo promedio de biogás para una familia rural de 5 o 6 miembros es de 175 – 225 L Biogás/h (Olaya, 2009).

D. BIOABONO

Es un buen fertilizante orgánico producto de la digestión anaeróbica, es rico en minerales y puede presentarse de dos formas dependiendo del tipo de biodigestor (FAO, 2011):

- Bioabono líquido: Producto de los biodigestores continuos que tienen una tasa alta de carga.
- Bioabono solido: Producto de biodigestores de batch o semicontinuos.

1. **Propiedades del bioabono.** Las propiedades del bioabono dependerán del nivel de nutrientes que contenga la materia prima y las condiciones en que se efectuó la digestión. No tiene olor desagradable y su relación C/N es menor, además no tienen condiciones que permitan la proliferación de organismos patógenos, ni moscas e insectos indeseables. Su aspecto es viscoso y negro.

Contiene la misma cantidad de macronutrientes y micronutrientes que los desechos degradados pero con cambios químicos que los hace estables al ambiente y fácil de asimilar (ICAITI, 1985).

Tabla 4. Análisis químicos compost vs bioabono

| Parámetros | Compost | Bioabono |
|---------------------------|---------|----------|
| pH (H ₂ O 1:5) | 7.2 | 7.9 |
| MO(W-B) 1:5 | 20.0 | 45.0 |
| MO(Calcinac. %) | 39.0 | 58.0 |
| N Total (Kjeldal %) | 1.0 | 1.8 |
| P Total (%) | 4.1 | 8.4 |
| K Total (%) | 0.4 | 0.7 |
| Relación C/N | 19.0 | 25.0 |
| N mineral (mg/kg) | 550.0 | 30.0 |
| C.E. (dS/m) | 10.1 | 14.4 |

Fuente: FAO, 2011

2. Usos. Según el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) en el año de 1985 el bioabono es usado para provocar cambios químicos y físicos en el suelo donde se aplica.

Entre los cambios químicos se pueden mencionar:

- El aumento del intercambio catiónico
- Aporte de nutrientes (macro y micro) para alimento de las plantas.
- Genera un efecto tampón en pH del suelo.

Los cambios físicos que genera son:

- Mejoramiento de suelos arcillosos y arenosos que son pobres en humus
- Disminuye pérdidas del suelo por erosión
- Evita pérdida por lixiviación de nutrientes minerales
- Ayuda a que los suelos absorban mejor energía radiante del sol.

Además puede ser mezclado con granos, forrajes y mieles para alimentar a animales.

E. BIOMASA

Es la fuente de energía más antigua y la que ha contribuido grandemente a la humanidad (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

1. ¿Qué es la biomasa? Es toda materia orgánica de origen vegetal y animal que puede ser transformada en energía. Es considerada fuente de energía renovable porque su contenido energético proviene de la energía solar por el proceso de fotosíntesis (Solarizate).

En la antigüedad la forma de aprovechar la energía de la biomasa era por combustión directa, pero gracias a los avances tecnológicos se han desarrollado procesos más eficientes y limpios, que la

transforman en combustibles líquidos o gaseosos (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

2. Fuentes de biomasa. Las fuentes principales de biomasa son: los residuos de la industria forestal y agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

a. Plantaciones energéticas. Son plantaciones destinadas a producir energía, para esto se seleccionan plantas de crecimiento rápido y poco mantenimiento. Algunos de los cultivos agrícolas que se pueden utilizar son: la caña de azúcar, maíz y trigo (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

En países como Brasil y Estados Unidos se utiliza este tipo de plantaciones, que se enfoca en producir Caña de azúcar y maíz para obtener bioetanol (Fernández).

b. Residuos forestales. Los residuos del aprovechamiento de bosque es una fuente de biomasa. Las podas, ramas, aserrín, virutas y recortes no son aprovechados y constituyen una gran fuente de biomasa (Solarizate).

c. Desechos agrícolas. En la agricultura se generan grandes cantidades de desechos llamados comúnmente rastrojos, se estima que estos representan un 60% de desechos de campo. Estos desechos se pueden utilizar para generar energía. En las granjas al tener variedad de animales se producen residuos húmedos, que son el estiércol de los animales, estos también son fuentes de biomasa (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

d. Desechos industriales. Se enfoca principalmente en la industria alimenticia que genera grandes cantidades de residuos y subproductos al manufacturar sus productos finales. La gestión de estos residuos puede ser costosa, pero estos residuos pueden ser utilizados para la generación de energía (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

e. Desechos urbanos. Hay una gran cantidad de biomasa en los sólidos urbanos y la mayoría de países no la aprovecha, un ejemplo de estos desechos son: desechos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. En todos los países se generan toneladas de desechos urbanos y no se aprovechan energéticamente, ni se tiene un sistema adecuado para evitar la contaminación que causan. Es necesario que los países empiecen a invertir tratamiento de residuos y utilizar esta biomasa que tienen a su alcance (Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002).

3. **Formas de aprovechar la biomasa.** Hay varias formas de poder transformar la biomasa en energía, entre ellas encontramos la digestión anaerobia que es un proceso bioquímico, en donde se da una descomposición natural de la materia orgánica (Solarizate). Como se dijo anteriormente una de los subproductos de esta digestión es el biogás, que puede ser utilizado para generación de energía eléctrica.

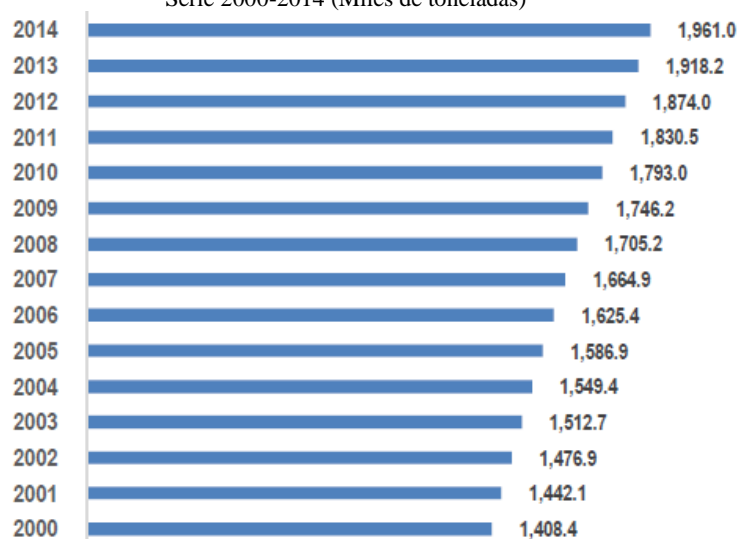
F. DESECHOS SÓLIDOS EN GUATEMALA

Desecho es todo aquello que queda después de haber elegido lo mejor de algo, esta es la definición que nos da la Real Academia Española. En Guatemala todos los días se generan toneladas de desechos sólidos, muchos de estos son recolectados por trenes de aseo, otra parte es tirada en basureros clandestinos, quemada o enterrada. Los desechos sólidos tiene un impacto negativo en el medio ambiente como lo es la contaminación de suelos y aguas, también puede contaminar el aire cuando esta es incinerada.

Cuando se acumula en vertederos y no se tiene un manejo integrado esta emana gases de efecto invernadero los cuales dañan la capa de ozono. En Guatemala el tema de la gestión de residuos ha sido algo que se ha tratado de controlar sin embargo, no se destina de mucho presupuesto para esto hasta que ya hay grandes consecuencias por el mal manejo.

1. **Desechos sólidos generados.** En el año 2015 se publicó en compendio Estadístico Ambiental 2014 en donde nos muestra por medio de graficas la cantidad de desechos sólidos domiciliarios generados en Guatemala.

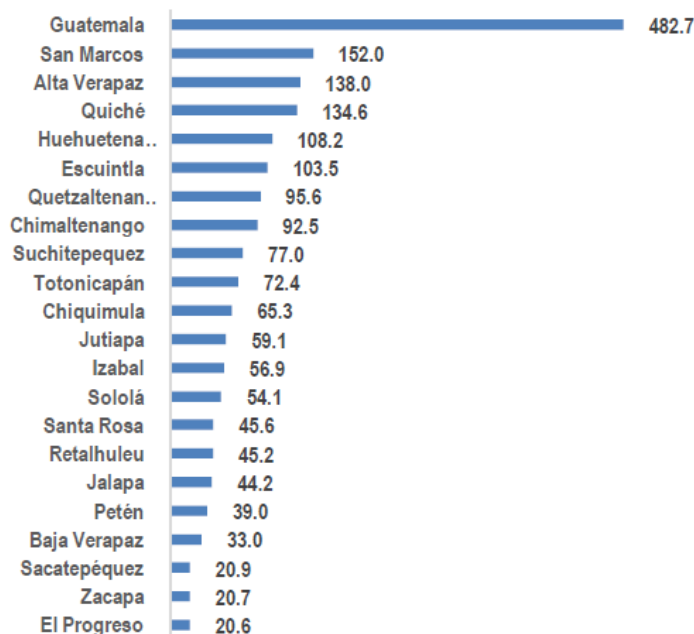
Figura 8. Estimación de desechos sólidos domiciliarios generados.
Serie 2000-2014 (Miles de toneladas)



Fuente: (INE, Instituto Nacional de Estadística, 2015)

Se puede observar que desde el 2000 al 2014 la generación de desechos sólidos domiciliarios ha ido creciendo, y durante 14 años los desechos aumentaron en 552.6 miles de toneladas.

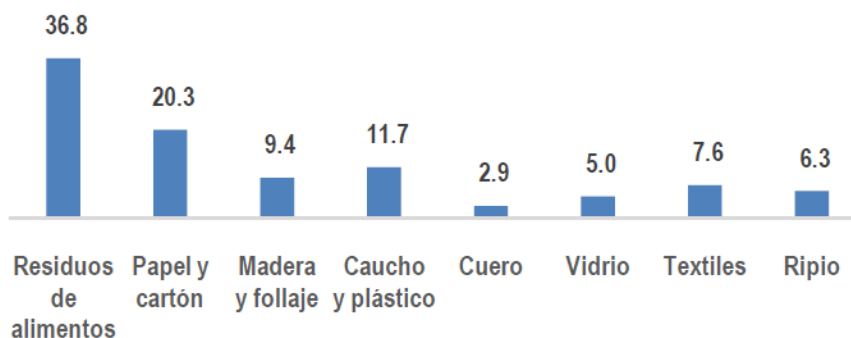
Figura 9. Estimación de sólidos domiciliarios generados por departamento.
Año 2014 (Miles de toneladas)



Fuente: INE, 2015

Siendo el departamento de Guatemala el que genera más desechos sólidos. Los desechos sólidos domiciliarios se componen de diferentes residuos, pero en todos los departamentos según las estadísticas el mayor porcentaje lo tienen los residuos de alimentos, siendo algo contradictorio ya que, en Guatemala aún hay regiones en donde hay desnutrición.

Figura 10. Composición de los residuos sólidos domiciliarios en el departamento de Retalhuleu.
Año 2013 (Porcentaje)



Fuente: INE, 2015

G. USO DE LEÑA EN GUATEMALA

La población centroamericana utiliza los recursos forestales para satisfacer las necesidades energéticas, según el ICAITI en el año de 1984 del total de biomasa utilizada en todo Centroamérica el 65% fue leña. Esto contribuye a reducir las zonas boscosas de todo el istmo. El 90% de leña es utilizada para cocción de alimentos.

En Guatemala el Ministerio de Energía y Minas (MEM) estima que un 75% de la población utiliza leña para la cocción de sus alimentos y que unos 2.1 millones de familias lo hacen en fogones abiertos, lo cual tiene un impacto directo a su salud y al medio ambiente.

En las investigaciones del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), dice que la leña que se consume en el país es procedente en un 49% de la recolección en los bosque naturales que hacen las familias para sus hogares, el 44% de silvicultura, un 4% de los residuos industriales, 5% de la producción de café y 1% de las sobras de la construcción de viviendas.

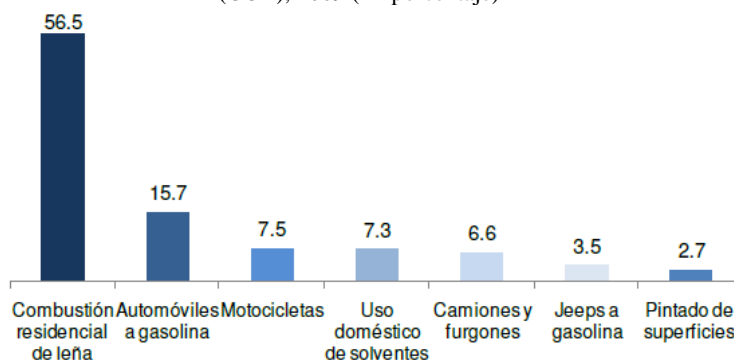
Se estima que anualmente se consumen 19 millones 456 mil metros cúbicos sólidos de leña sin incluir lo que se utiliza por la pequeña y mediana industria (Ecorinconesdeguatemala, 2009).

1. **Impacto ambiental.** El consumo de leña para cocción de alimentos tiene varios impactos negativos en el medio ambiente, muchas veces no nos damos cuenta de esto, pero mencionaremos algunos de estos:

- Contaminación en el aire, por la emisión de diferentes gases de efecto invernadero y también por el hollín.
- Tala desmedida de árboles, esto es algo muy delicado ya que, la gente no vuelve a reforestar.
- Daño a flora y fauna, esto va de la mano con la tala de árboles, al alterar sus ecosistemas se puede perder diversidad de especies tanto en animales y plantas.
- Alterar ecosistemas.

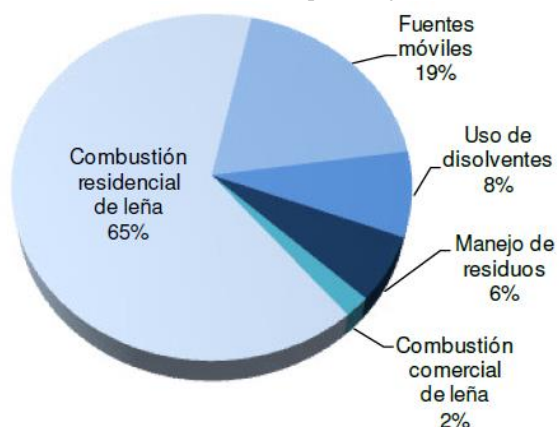
Se presentan algunas figuras de estadísticas de contaminación del aire.

Figura 11. Contribución porcentual de los principales emisores de Gases Orgánicos Reactivos (GOR), 2009 (En porcentaje)



Fuente: (INE, Instituto Nacional de Estadística, 2015)

Figura 12. Contribución porcentual de los principales emisores de Gases Orgánicos Totales (GOT), 2009 (En porcentaje)



Fuente: (INE, Instituto Nacional de Estadística, 2015)

2. **Riesgos a la salud.** Al quemar leña para cocción de alimentos se producen partículas nocivas que contaminan el aire, como el hollín que puede penetrar en los pulmones al ser inhalado por las personas que se exponen a él. En lugares cerrados y sin chimeneas la concentración de contaminantes en el aire es mayor. Los más afectados por el humo son los niños y mujeres.

Según la Organización Mundial de la Salud las principales consecuencias a la salud son:

- Neumonía
- Cáncer de Pulmón
- Accidente Cerebrovascular
- Cardiopatía Isquémica
- Neumopatía obstructiva crónica
- Cataratas
- Tuberculosis

Las partículas generadas inflaman las vías respiratorias y los pulmones, reduciendo la capacidad de oxigenación de la sangre. Además se corre el riesgo de sufrir quemaduras.

H. ANTECEDENTES COMUNIDAD

1. **Historia.** La comunidad se formó en el año de 1830. Los primeros habitantes fueron Dorotea Pacheco y Antonio Batres, la finca se llamaba Santa Dorotea. Durante el año de 1905 debido a los estudios que vino a hacer el ingeniero civil Francisco Vela los vecinos decidieron colocarle el nombre de Francisco Vela en honor a él.

La educación se inició en el año de 1905 y se brindaba de forma personal, el maestro Leonso Cabrera impartía clases de casa en casa. Las principales fuentes de trabajo en estos años eran por medio de cultivos y la comercialización de productos como banano, cocos, leche, madera y zacate. El comercio fue influenciado por el paso del tren en ese entonces.

En el año de 1919 vinieron a vivir los señores Cruz Puac, Juana Ulín, Leonardo CucJulia Cuc de Saquila, Ventura Tasej, Nicolas Sontay, Juan Pacheco, con el tiempo también vinieron los señores Siriaco Ulin, Miguel Sop, Eduardo Ordoñez, Toribio Chojolán, Ventura Sacayon, Diego Sop, Juliana Saquila y Bartolo Quiej.

Antes de la década de 1960 se conoce que existieron líderes comunitarios denominados alcaldes auxiliares que fueron los señores Vicente Batres, Federico Dionisio, Rogelio Batres, Benito Ramírez, Felipe Batres, entre otros, que tenían como trabajo llevar citaciones judiciales, podían resolver algunos problemas dentro de la comunidad como robos de animales, peleas familiares y conducían a los que delinquirían a la cárcel o a los juzgados competentes.

En el año de 1960 se formó el primer comité de promejoramiento formado por los señores Antonio Betancourt como el presidente de dicho comité, Conrado Catarino el secretario, Valentín Batres el tesorero y como vocales Mario Salvador Batres, Vicente Batres Mendoza, Leonel Batres Werner. Ellos se encargaron de gestionar diversos proyectos como el camino en 1965; en 1969 debido a la superpoblación y con la ayuda del gobierno, la comunidad, del señor Thoms Levis y la donación del terreno por Don Celestino Martínez se construyó la primera escuela formal; la habilitación de la línea férrea en 1973, la electricidad en 1976 y el agua entubada para un sector en 1979.

La feria titular se celebra el primer sábado de enero en honor a la Virgen María, cuya tradición se hace desde el año 1976 cuando se inauguró la iglesia católica, gracias a la donación de dos imágenes de la Virgen María que hizo el párroco Prudencio Rodríguez.

Durante el 1987 se demolió la escuela y se construyó una nueva fase que es la que permanece hasta la actualidad con algunas mejoras, esta consta de 5 aulas y la dirección. Para poderla construir los alumnos tuvieron que recibir clases en casas particulares que fueron usadas como salones. En sus inicios las viviendas eran construidas de hojas de manaque, tarros, laminas y nailon, actualmente se construyen de block y cemento.

En 1989 se formó un nuevo comité integrado por los señores Rigoberto Chiricoc, Alejandro Siquila, Secundino Pacheco, José Dionisio y Gerardo Amezquita quienes gestionaron el proyecto de agua entubada en su primera fase, compra de fuente de agua en la finca Hamburgo, proyecto de víveres en 1990,

conducción del agua hasta la comunidad inaugurado en 1992, circulación perimetral de la escuela primaria 1992, proyecto de viveres en 1992, ampliación de energía eléctrica fase 2 en 1994 el cual sirve para 111 casas, proyecto de letrinas en 1994, el segundo proyecto de energía eléctrica en 1999 el cual sirve para 119, puesto de salud y proyecto de 3 aulas.

En los años de 2000 a 2004 existió otro comité de gestión formado por Hugo García, Mario Daniel Batres Oliva, Mercedes Batres Oliva, gestionando la segunda fase del agua potable, el adoquinado frente a la escuela, entrada y carrilera, empedrado y fraguado desde la entrada al sector chincuyal hasta la casa de don Antonio Machic y la entrada al puesto de salud.

Otro comité formado por Felipe Martínez y sus colaboradores realizaron la gestión del puente de ajaxá, también un comité presidido por Oscar Batres realizo la gestión del puente y bombas para el pozo.

En el año 2004 se establece según las leyes de Guatemala los Consejos Comunitarios de Desarrollo dejando de existir los comités y alcaldes auxiliares, siendo el primer presidente de COCODE el señor Moisés Chiricoc Sop, luego en el 2006 asume la presidencia el señor Eleazar Edilberto Batres Oliva gestionando proyectos de infraestructura como pavimentación de la calle principal, adoquinamiento de la calle chincuyal, adoquinamiento en vuelta Versailles, circulación de la escuela de Guadalupe, gestión de fosa para escuela de párvulos, construcción de cocina en escuela primaria, construcción de aulas en escuela primaria, entre otros. Durante la gestión del señor Eleazar Batres la comunidad cambia su categoría de Cantón Francisco Vela a Aldea Francisco Vela en el 2010. Actualmente el señor Moisés Chiricoc se encuentra como presidente del COCODE de la comunidad.

Algunos de los comunitarios en la aldea son pequeños y medianos agricultores, teniendo como principal cultivo el café. También se cultiva maíz, frijol, banano, plátano, naranja de diversas variedades, zapotes, chiles anonas, limones, mangostán y diversa variedad de frutas.

2. Geografía

a. **Localización.** La comunidad se encuentra ubicada en la aldea Francisco Vela, a 4 kilómetros del municipio de San Felipe y a 9 kilómetros de la cabecera departamental. Sus colindancias son al norte con Aldea los Ángeles y finca Casa Blanca, al sur con Finca Olga Buenos Aires, Finca el Carmen y el municipio de San Andrés Villa Seca, al este con Finca Santa Clara y el municipio de San Francisco Zapotitlán y al oeste con Finca Las Mercedes, San José Maricon y Finca el Carmen (FUNDAZÚCAR, Programa Mejores Familias/ Mejores Comunidades, 2015).

b. Croquis comunitario

Figura 13. Croquis aldea Francisco Vela

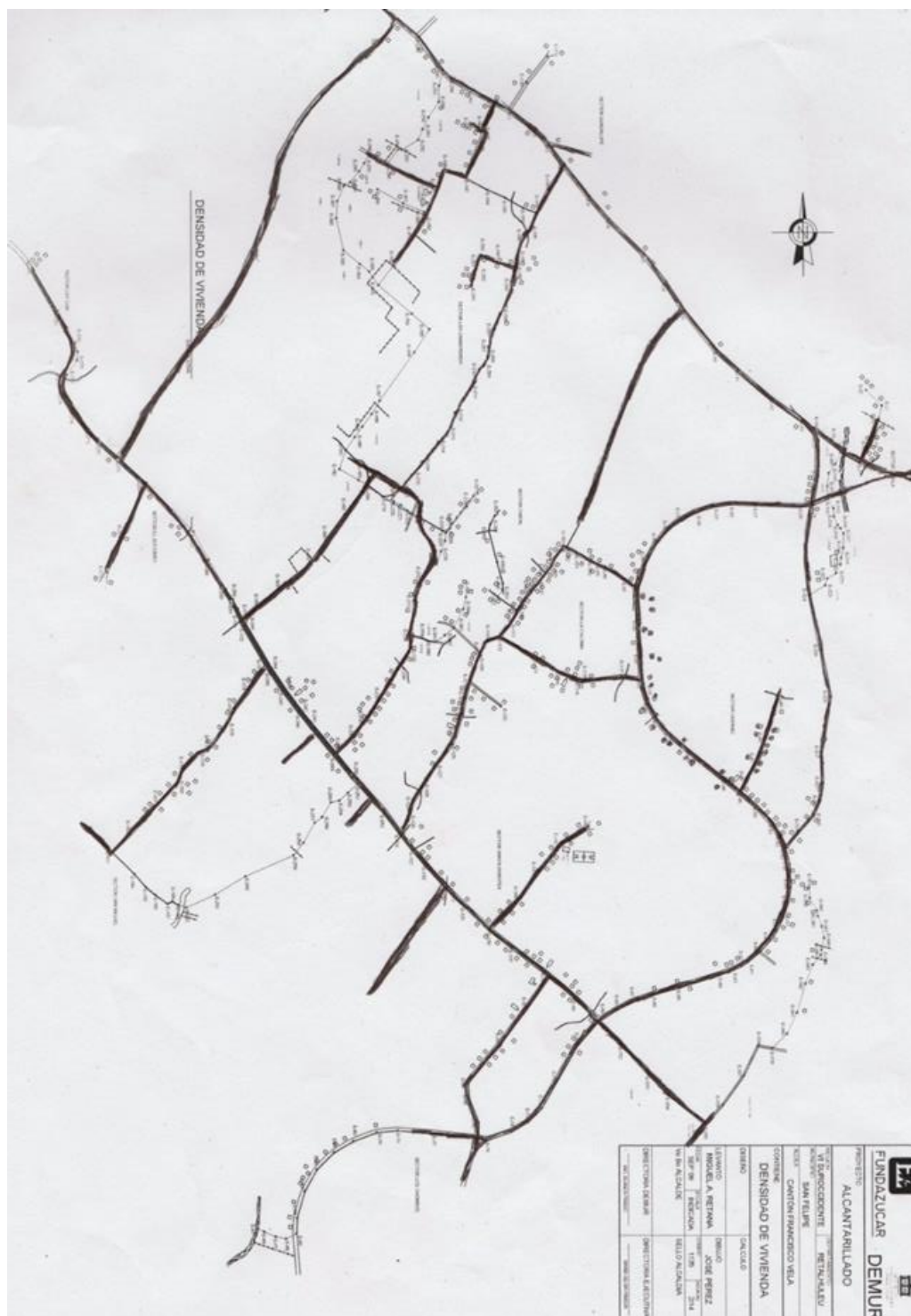


Figura: FUNDAZÚCAR, 2015

c. Diversidad de cultivos y árboles

Figura 14. Diversidad de árboles y cultivos de la aldea



Figura: FUNDAZÚCAR, 2015

d. Clima. El cantón se encuentra a una altura de 1500 pies sobre el nivel del mar, por lo que el clima es templado con una temperatura promedio de 25° a 32° C.

3. Datos poblacionales

a. Población

Tabla 5. Número de viviendas y familias

| No. Viviendas | No. Familias |
|---------------|--------------|
| 450 | 500 |

Fuente: Órgano de coordinación de COCODE, 2015

b. Distribución de la población de la comunidad por sexo y por edad

Tabla 6. Distribución de la población por sexo y edad

| Edad | Hombres | Mujeres |
|------------------------|----------------|----------------|
| 05-9 | 150 | 195 |
| 10-14 | 70 | 85 |
| 15-19 | 59 | 55 |
| 20-24 | 90 | 99 |
| 25-29 | 92 | 90 |
| 30-34 | 85 | 95 |
| 35-39 | 70 | 80 |
| 40-44 | 92 | 90 |
| 45-49 | 50 | 60 |
| 54-54 | 55 | 75 |
| Población total | 813 | 924 |

Fuente: Órgano de coordinación de COCODE, 2015

c. Idiomas

Tabla 7. Idiomas que se hablan en la aldea

| Idioma | % de la población que lo habla |
|---------------|---------------------------------------|
| Español | 90% |
| Cakchiquel | 10% |

Fuente: Órgano de coordinación de COCODE, 2015

V. METODOLOGÍA

La metodología para realizar este trabajo se basa en investigación mixta, utilizando datos cualitativos y cuantitativos. Se hizo la recolección de datos cualitativos en la aldea, se realizaron los análisis correspondientes para obtener los datos cuantitativos y definir qué tipo de biodigestor se adaptaba a la familia promedio de la aldea, además se estimaron las medidas y los costos del mismo.

A. RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos consistió en visitas de campo, entrevistas y una encuesta para obtener información social de las familias de la aldea, se tomó una muestra de 45 familias que se eligieron aleatoriamente con la ayuda del COCODE. Estos datos sirvieron para caracterizar a las familias de la comunidad y establecer las condiciones de vida que tienen. Los datos obtenidos nos ayudaran a definir la familia promedio de la aldea, así como el espacio disponible con el que cuentan en sus terrenos, el clima y servicios básicos que tienen. El modelo de encuesta utilizado se encuentra en anexo 1.

B. ESTUDIO SOCIOECONÓMICO

Se realizó una encuesta para saber el promedio de los ingresos y egresos de las familias de la comunidad, y se determinó si tienen un superávit para poder invertir en un biodigestor y aprovechar los beneficios del mismo. También se tomaron en cuenta los gastos e ingresos que algunas familias tienen por los productos que cosechan. La encuesta de ingresos y egresos se realizó en conjunto con la encuesta de caracterización, ver anexo 1.

C. DISEÑO DEL BIODIGESTOR

Luego de las encuestas y entrevistas, se eligieron cinco de las familias encuestadas y entrevistadas al azar para realizar muestreos de desechos orgánicos de cocina generados por las familias durante siete días; también se muestreo el peso promedio de los animales que tiene la familia, el porcentaje de estiércol generado por el animal según el peso vivo (PV) tomando como referencia las tablas del anexo 4. Se pesaron los rastrojos agrícolas que se generaban tanto de las cosechas como de las hojas secas de los árboles frutales/maderables que tenían en sus terrenos, todo esto se realizó para establecer la generación diaria de desechos orgánicos promedio de las familias en la aldea.

Después de realizar toda la recolección de datos cualitativos y cuantitativos se realizó un análisis completo de esta investigación para cumplir con los objetivos propuestos de la misma.

VI. RESULTADOS

A. CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDAD

1. **Socioeconómica.** Se establecieron las condiciones de una familia promedio en la aldea, el 91% de las familias cuentan con vivienda propia y el resto de ellas la heredaran, el promedio de habitantes por vivienda oscila entre 5 a 8 personas; en la comunidad la mayoría de las familias se dedican a actividades pecuarias o agrícolas (89%), además de contar con un trabajo estable.

La mayoría de las casas tienen paredes de block, techo de lámina y el piso es de torta de cemento; cuentan con electricidad, agua potable entubada además algunos tienen pozos, lo que garantiza la disponibilidad del agua durante el día, pero no cuentan con drenaje entubado por lo que utilizan fosas sépticas.

El 42% de las familias utilizan solo leña para la cocción de alimentos, un 51% utiliza leña y gas propano. Los desechos sólidos generados por las familias se gestionan de diferente manera, un 42% de ellas utiliza el tren de aseo de la comunidad, un 38% la quema y un 20% la tira en su terreno. Dentro de la comunidad las familias cuentan como mínimo de 1 a 2 cuerdas donde se encuentra construida su casa, algunas familias arrendan terrenos para poder cultivar y otras cuentan con terrenos propios.

El porcentaje de las familias que se dedican a la agricultura es de 71% siendo los cultivos principales maíz teniendo de dos a tres cosechas por año, frijol, yuca, banano y café. Un 47% de las familias tiene de 1 a 15 cuerdas cultivadas, otros tienen de 16 a 34 (34%), de 36 a 60 cuerdas (3%) y de 61 a 100 cuerdas un (16%). Un 80% de las familias tiene árboles siendo un 83% frutales y el resto maderables.

El porcentaje de las familias que se dedican a las actividades pecuarias es 78% y la mayoría de las familias tienen pollos y patos siendo un 74%, un 13% cuenta con cerdos y el otro 13% con vacas. En el anexo 2 se presentan las gráficas relevantes de la encuesta realizada.

Según las características de la comunidad, las familias cuentan con espacio para poder construir un biodigestor, además cuentan con suficientes desechos orgánicos y agua para mantenerlo en funcionamiento, tienen un superávit en el estudio socioeconómico

Se tiene un ingreso promedio por familia de 3,148.82 y un egreso promedio por familia de Q 2,232.44 lo cual deja un superávit de 916.37 por familia sin incluir los gastos en actividades agrícolas y pecuarias de cada familia se estima que estos gastos son de Q 350.00 promedio por familia. Lo cual deja un saldo neto de Q 566.37.

2. Desechos generados por familia promedio. Se determinó que el número promedio de integrantes de las familias es de 6 personas, con la muestra de las cinco familias se pudieron establecer los desechos orgánicos de cocina que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Desechos orgánicos de cocina por una familia promedio a diario.

| Productor | Kg por persona/diario | Integrantes Promedio | Kg/diarios | % sólidos totales (ST) | Total ST |
|------------------|-----------------------|----------------------|------------|------------------------|----------|
| Familia promedio | 0.4 | 6 | 2.4 | 15% | 0.36 |

Fuente: Propia.

El promedio de desechos orgánicos de cocina diarios es de 2.4 kilogramos.

Los desechos pecuarios generados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Desechos pecuarios promedio por animal diarios.

| Productor | Peso promedio Kg | No. Promedio de animales | Porcentaje de estiércol/día según PV | Kg/diarios | % (ST) | Total ST |
|---------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------|--------|----------|
| Pollo y patos | 1.8 | 20 | 4.5% | 1.62 | 45% | 0.729 |
| Cerdos | 75 | 1 | 3% | 2.25 | 18% | 0.405 |
| Vacas Jersey | 640 | 1 | 6% | 38.4 | 18% | 6.912 |

Fuente: Propia.

Lo que nos da 1.62Kg de desechos pecuarios por familia.

Un gran porcentaje (71%) de familias dentro de la aldea tiene actividades agrícolas y el resto tiene más de un árbol frutal en su terreno.

Tabla 10. Rastrojos del maíz promedio por cuerda

| Productor | Kg Rastrojos/cuerda | Promedio de cuerdas | Kg/diarios | % ST | Total ST |
|---------------------|---------------------|---------------------|------------|------|----------|
| Rastrojos agrícolas | 0.15 | 15 | 2.25 | 70% | 1.575 |
| Hojas frescas | 0.5 | 1 | 0.5 | 24% | 0.24 |

Fuente: Propia.

El cálculo se realizó solo por una cosecha, en la comunidad se tienen dos a tres cosechas de maíz durante el año. Al final los kilogramos de desechos agrícolas de maíz que genera cada familia es de 2.25 Kg diarios. Además se estimó que los desechos de hojas secas generadas por diferentes árboles en el terreno de una familia son de 0.5 kg por día. Lo que nos da un total de 2.75kg en desechos agrícolas generados por familia.

Al finalizar los cálculos de todos los desechos orgánicos (de cocina, pecuarios y agrícolas) de una familia promedio en la aldea se tiene un total de 6.77 Kg diarios que equivalen a un 2.784 Kg de sólidos totales diarios en la familia, el desglose se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Total de desechos orgánicos y sólidos totales producidos a diario.

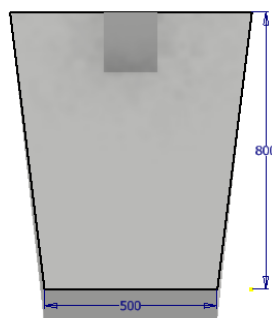
| Productor | Kg/ diario | Kg ST/diario |
|--------------------|------------|--------------|
| Desechos de cocina | 2.4 | 0.36 |
| Desechos pecuarios | 1.62 | 0.729 |
| Desechos agrícolas | 2.75 | 1.695 |
| Total | 6.77 | 2.784 |

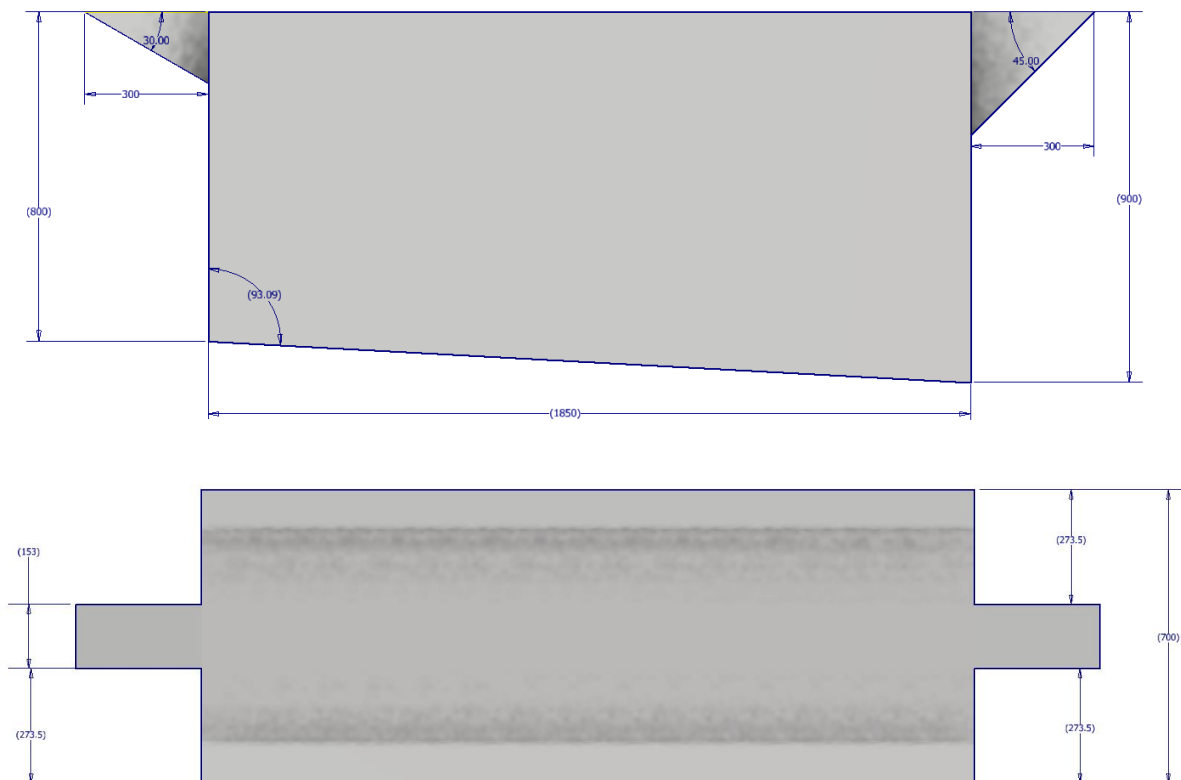
Fuente: Propia

B. BIODIGESTOR A UTILIZAR

Tomando en cuenta los datos recolectados y tabulados durante las encuestas y algunos muestreos, el diseño que más se adapta a las familias de la aldea es la planta de bajo costo de polietileno tubular (biodigestor tubular), con alimentación semi-continua. Los cálculos se encuentran en el anexo 3.

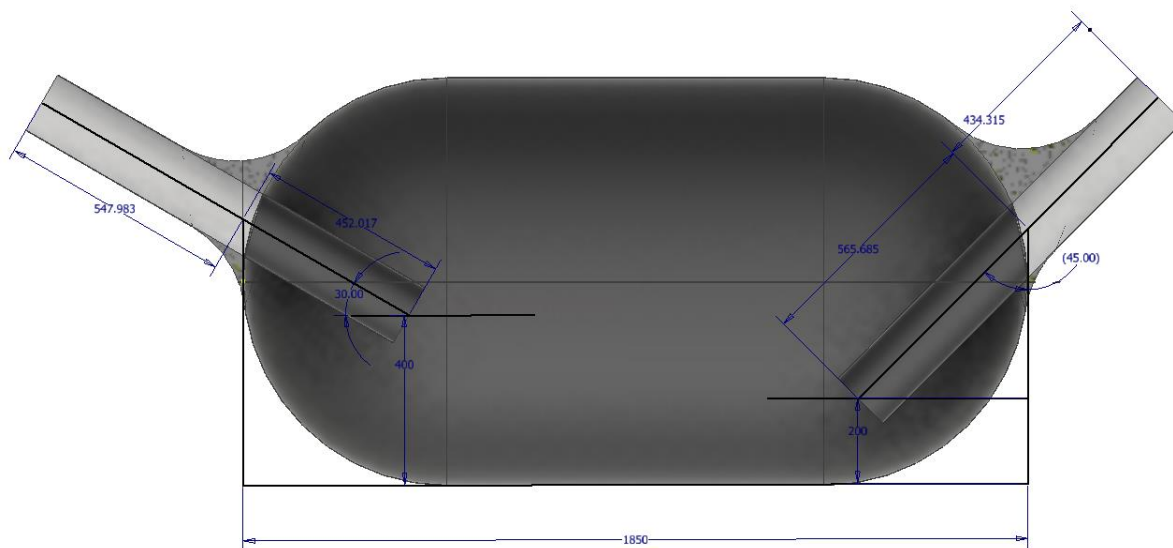
El volumen total del biodigestor tendrá que ser de 1.3m^3 . Se utilizara polietileno PVC tubular de 1.5 metros de ancho, con un largo de 1.85 metros para poder cumplir con el volumen establecido y la zanja donde se instalara deberá tener las siguientes medidas expresadas en milímetros:



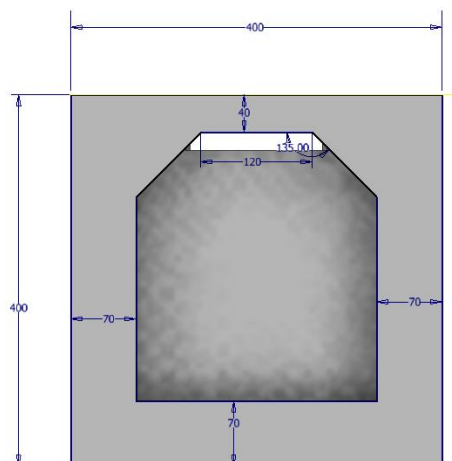


El tamaño del gasómetro podrá ser de 1m^3 a 1.5m^3 .

Las medidas del reactor y la posición de los tubos de entrada y salida del mismo se muestran a continuación expresado en milímetros:



Se detallan las dimensiones que debe tener la poza entrada/salida de reactor en milímetros:



En el anexo 5 se muestran algunos esquemas del funcionamiento y construcción del biodigestor tubular.

C. MEDIDAS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO

1. **Medidas de seguridad.** En Guatemala no hay un reglamento que establezca las medidas de seguridad que se deben cumplir para la implementación de un biodigestor unifamiliar por lo que se toman las siguientes consideraciones de seguridad al momento de construir uno, según algunos manuales (FIRCO, El Fidecomiso de Riesgo Compartido, 2010) y (Cotrina & Villanueva, 2013).

- Durante la instalación del biodigestor se debe evitar que se dañe el material con el que se construirá el reactor, para evitar fugas.
- El biodigestor se deberá proteger por medio de un techo tipo invernadero para que no esté expuesto a la intemperie.
- Se debe restringir el acceso de animales cerca del biodigestor.
- El biodigestor no puede ser construido en un área con sombras o donde haya muchos árboles, porque se corre el riesgo de que alguna rama pueda caer sobre él.
- Se debe instalar una válvula de seguridad que libere automáticamente el biogás a la atmósfera cuando el digestor alcance una presión determinada y se corra el riesgo de desgarre del reactor o gasómetro.
- Se deben identificar las áreas de seguridad alrededor del perímetro del biodigestor; también donde se encuentra la válvula de seguridad ya que, esta libera biogás al ambiente para regular la presión en el reactor y el gasómetro.
- No se debe encender fuego cerca del biodigestor.

- Se deberá señalar con anuncios visibles en las áreas de seguridad donde se indiquen las siguientes leyendas “PELIGRO: GAS ALTAMENTE INFLAMABLE” y “SE PROHIBE FUMAR”
- Se debe instalar una equipo arresta flamas de acero inoxidable en la tubería de alimentación del quemador, para evitar el riesgo de incendio.
- No desconectar los tubos por donde circula el biogás mientras el reactor este cargado, esto liberaría biogás que puede crear un incendio.
- Los filtros de fierro no se pueden votar en cualquier lugar ya que son tóxicos, estos se deben de colocar en una caja y luego enterrarlos en un lugar seguro.
- El biodigestor puede estar a 15 metros de la cocina de la vivienda.

2. **Mantenimiento.** Es muy importante mantener el buen funcionamiento de nuestro biodigestor y lo podemos lograr por medio inspecciones periódicas, según FIRCO, Cotrina & Villanueva se deben de realizar las siguientes actividades para realizar el mantenimiento de un biodigestor tubular unifamiliar:

- Realizar inspecciones periódicas buscando detectar fugas, rasgaduras o daños en general, tanto en el reactor y gasómetro como en las tuberías y válvulas.
- Se quitará la basura y/o escombros que se encuentren en el techo invernadero del biodigestor.
- Eliminar cualquier acumulación de agua del techo del biodigestor y de las tuberías por medio de las trampas de agua.
- Se deben remover periódicamente los lodos acumulados en la parte baja del biodigestor para evitar el azolvamiento y la operación incorrecta.
- Revisar semanalmente el agua de la botella de la válvula de seguridad para ver si se encuentra en el nivel establecido (de 3 a 4 cm de sobre la base de la tubería).
- Revisar que la manguera de conducción de biogás no se encuentre doblada o presente curvas en las partes bajas para que el agua no se condense en estas zonas e impida el paso del biogás.

D. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTOR

Ya teniendo el tipo de biodigestor a utilizar y las medidas que tendrá se pudo establecer los materiales a utilizar y calcular el costo total de implementarlo. Los costos aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Costo total de instalación biodigestor tubular de polietileno

| Parte del sistema | Materiales | Cantidad | Unidad | Precio unitario | Total |
|---|---|----------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Zanja | Cubierta de polietileno | 3 | Metros | Q 12.00 | Q 36.00 |
| | Excavación | 1 | Unidad | Q 150.00 | Q 150.00 |
| Reactor | Liga de neumático | 6 | Metros | Q 10.00 | Q 60.00 |
| | Tubería de PVC 6" | 1 | Unidad | Q 145.00 | Q 145.00 |
| | Polietileno tubular 1.5 ancho (300 micrones color negro humo) | 6 | Metros | Q 12.00 | Q 72.00 |
| Salida de gas | brida pp 1/2" con arandela de goma y rosca | 1 | Unidad | Q 50.00 | Q 50.00 |
| | Flange o pasamuros 1/2" | 1 | Unidad | Q 50.00 | Q 50.00 |
| Conducción de gas | Manguera pet o tubería PVC de 1/2" politubo | 5 | Tubo (6 metros) | Q 16.00 | Q 80.00 |
| | Codos PVC 1/2" | 4 | Unidad | Q 2.00 | Q 8.00 |
| | Llaves de bola 1/2" de plástico | 4 | Unidad | Q 10.00 | Q 40.00 |
| | Niple PVC 1/2" por 4" | 2 | Unidad | Q 10.00 | Q 20.00 |
| | Tee PVC 1/2" | 2 | Unidad | Q 1.50 | Q 3.00 |
| | Adaptadores PVC 1/2" hembra | 2 | Unidad | Q 1.50 | Q 3.00 |
| | Unión universal | 2 | Unidad | Q 15.00 | Q 30.00 |
| Gasómetro | Polietileno tubular 1.5 ancho | 2 | Metros | Q 12.00 | Q 24.00 |
| Invernadero | Polietileno transparente | 2.5 | Metros | Q 12.00 | Q 30.00 |
| | Tubo PVC de 1/2" | 2 | Unidad | Q 16.00 | Q 32.00 |
| | Tee 90° PVC 1/2" | 4 | Unidad | Q 3.00 | Q 12.00 |
| | Tee PVC 1/2" | 6 | Unidad | Q 1.50 | Q 9.00 |
| | Cruz PVC 1/2" | 2 | Unidad | Q 3.00 | Q 6.00 |
| | Cinchos plasticos | 1 | Paquete | Q 20.00 | Q 20.00 |
| Entrada y salida de reactor | Cemento | 1 | Bolsa | Q 75.00 | Q 75.00 |
| | Tabique | 14 | Unidad | Q 5.00 | Q 70.00 |
| | Arena | 0.5 | Metros | Q 50.00 | Q 25.00 |
| Válvulas de seguridad | Tee PVC 1/2" roscada | 1 | Unidad | Q 3.00 | Q 3.00 |
| | Adaptadores PVC 1/2" macho | 3 | Unidad | Q 1.50 | Q 4.50 |
| | Botella de plástico vacía de 1.5 lt | 1 | Unidad | Q 7.00 | Q 7.00 |
| Trampa de agua | Tee PVC 1/2" roscada | 1 | Unidad | Q 3.00 | Q 3.00 |
| | Adaptadores PVC 1/2" macho | 2 | Unidad | Q 1.50 | Q 3.00 |
| | Adaptadores PVC 1/2" hembra | 1 | Unidad | Q 1.50 | Q 1.50 |
| | Tapón roscado PVC 1/2" | 1 | Unidad | Q 2.00 | Q 2.00 |
| Filtro de ácido sulfhídrico y trampa de llama | Tubo PVC de 2" | 1 | Unidad | Q 35.00 | Q 35.00 |
| | Reductores de 2" a 1/2" | 2 | Unidad | Q 15.00 | Q 30.00 |
| | Unión universal | 2 | Unidad | Q 15.00 | Q 30.00 |
| | Esfonja lavatrazos metálica | 5 | Unidad | Q 3.00 | Q 15.00 |
| Complementos | Teflón | 2 | Unidad | Q 3.00 | Q 6.00 |
| | Sellador de silicona | 1 | Unidad | Q 15.00 | Q 15.00 |
| | Cemento PVC | 1 | Unidad | Q 35.00 | Q 35.00 |
| | Sellador butílico | 1 | Unidad | Q 25.00 | Q 25.00 |
| Total | | | | | Q 1,265.00 |

Fuente: Propia

El costo total del biodigestor tubular de polietileno es de Q 1,265.00 que incluye materiales y excavación de la zanja.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dentro de la aldea no todas las familias cuentan con ganado o cerdos, pero si con gallinas o patos (74%) por lo que, para la estimación de los desechos pecuarios se tomó en cuenta solamente el estiércol generado por los patos y gallinas, teniendo un promedio de 20 patos y gallinas por familia en la comunidad. Es posible que para las familias que tengan ganado o cerdos, el biodigestor les quede pequeño y no puedan aprovechar el 100% de los desechos generados por estos animales, pero es un porcentaje pequeño comparado con lo que solo tienen gallinas y patos.

El cultivo que se muestreo es el maíz ya que, es el cultivo que más se siembra en la comunidad, los agricultores de la aldea siempre dejan un porcentaje (aproximadamente un 50%) de los rastrojos en el lugar donde lo siembran, que sirve como fertilizante orgánico, por lo que el cálculo de rastrojos solamente se llevó a cabo con un 50% de los rastrojos totales pesados en la muestra. El espacio que ocupara el biodigestor es de aproximadamente 2m², espacio que las familias de la aldea tienen a disposición para poderlo implementar.

Se eligió el biodigestor tubular por su fácil construcción (no necesita de demasiados conocimientos técnicos), el tiempo de vida es de aproximadamente 6 a 10 años y el costo es accesible. El tipo de alimentación tendrá que ser semi-continua para que la producción de biogás sea constante y los desechos generados a diarios puedan ser utilizados, el tiempo de retención es de 35 días.

Las medidas de seguridad y el mantenimiento son específicas para este tipo de biodigestor, el tiempo de vida del mismo dependerá mucho del mantenimiento que se le dé, las medidas de seguridad se establecieron teniendo en cuenta el lugar donde se colocara el biodigestor y las características de las viviendas de las familias.

En los egresos de la familia se colocó también los gastos que se tiene por cultivar y/o las actividades agrícolas, la mayoría de las familias no las colocaba ya que, no lo veían como un gasto sino una inversión. Sin embargo el desembolso que realizan en estas actividades es mensual y se deber incluir en egresos.

En el costo total del biodigestor no se incluyó el costo de mano de obra en el presupuesto porque la familia puede encargarse de esto, pero siempre tienen que consultar a una persona con conocimiento para que pueda revisar la instalación finalizada antes de ponerla en operación. Los costos se pueden reducir si la familia que realiza la excavación de la zanja.

VIII. CONCLUSIONES

- Se pudieron definir las características de la aldea y establecer las condiciones de vida de una familia promedio en la aldea, con lo que se concluye que las condiciones en las que viven las familias son dignas y tienen los recursos necesarios, siendo una aldea que tiene muy arraigadas las actividades agrícolas y pecuarias.
- La cantidad de desechos orgánicos que en promedio produce una familia al día es de 6.77 kilogramos por lo que, es necesario que el volumen total del biodigestor sea de 1.3m³ y se utilizara polietileno tubular de 1.5 metros de ancho por 1.85 metros de ancho. Las familias si cuentan con espacio en su terreno para colocar el biodigestor.
- El ingreso promedio que tiene cada familia en la comunidad es de Q 3,148.82 y un egreso promedio por familia de Q 2,232.44 lo cual deja un superávit de 916.37 por familia sin incluir los gastos en actividades agrícolas y pecuarias de cada familia se estima que estos gastos son de Q 350.00 promedio por familia. Lo cual deja un saldo neto de Q 566.37, que se podrían invertir en la instalación del biodigestor.
- Las medidas de seguridad fueron elaboradas satisfactoriamente para el biodigestor tubular y se pudo establecer el mantenimiento que se debe dar al biodigestor para evitar los accidentes y tener el uso adecuado del mismo.
- El costo total del diseño de biodigestor tubular es de Q 1,265.00, así que las familias pueden implementar el biodigestor sin ningún tiempo de financiamiento externo. Comprando los materiales en dos meses o ahorrando durante dos meses para poderlo pagar.
- Dentro de la aldea muchas familias no conocen lo que es un biodigestor y solamente hay un 25% que estaría dispuesta a invertir en un biodigestor para poder aprovechar los beneficios que este ofrece.
- Un 64% de familias al ver los beneficios que genera un biodigestor ya en funcionamiento dentro de la aldea y el costo de su implementación, podrían cambiar de opinión e invertir en él.
- La aldea se beneficiaría grandemente al implementar los biodigestores como tratamiento de desechos orgánicos pecuario y agrícolas, además el biogás serían aprovechado para disminuir el uso de leña y minimizando el riesgo de sufrir enfermedades respiratorias, y el bioabono puede brindar nutrientes esenciales al suelo.

IX. RECOMENDACIONES

- Implementar un biodigestor unifamiliar trae muchos beneficios, y muchas veces la gente no conoce que es un biodigestor y mucho menos sus beneficios tal como se muestra en el anexo 2, es necesario que se le puedan dar charlas a las personas de la comunidad para que conozcan esta tecnología y puedan decidir el implementarla o no.
- El COCODE podría realizar pláticas y hacer ver el impacto medioambiental que tienen las prácticas actuales de gestión de desechos y uso de leña en la comunidad.
- La mayor parte de veces los biodigestores no han tenido los resultados esperados por la familia o comunidad, esto se debe al nivel de compromiso que la familia tiene para mantenerlo en funcionamiento y el uso que le den a los productos generados del mismo por lo que, se debe de llevar un acompañamiento con la familia antes y después de la construcción del biodigestor para resolver cualquier duda que surja.
- Es ideal que un miembro del COCODE se capacite técnicamente en el tema de biodigestores para poder guiar a las familias que quieran implementarlo.
- En cuanto a costos, las familias pueden optar a comprar los materiales del biodigestor mensualmente (un máximo de 4 meses) para poderlo construir al momento de tener todos los materiales necesarios, esto con el fin de no realizar un solo pago y quizá afectar su presupuesto familiar.
- Es preferible que el biodigestor se coloque en un lugar abierto sin sombra, para evitar el peligro de algún objeto que caiga y pueda dañarlo.

X. BIBLIOGRAFÍA

- CASM, Comisión de Acción Social Menonita. (2011). *Construcción y Uso de Biodigestores de Producción Energética y Reducción de Gases de Efecto Invernadero*. San Pedro Sula.
- Cotrina, R., & Villanueva, G. (2013). *Biodigestores tubulares unifamiliares: Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento*. Perú: Soluciones Prácticas.
- De la Parra, J., & Altamirano, H. (2013). *Biodigestores empleando subproductos agropecuarios, la experiencia de Fundación Solar en Guatemala*. Guatemala.
- Ecorinconesdeguatemala. (7 de febrero de 2009). *ecoRinconesdeGuatemala Weblog*. Recuperado el 29 de agosto de 2016, de <https://ecorinconesdeguatemala.wordpress.com/2009/02/07/datos-del-uso-de-lena-en-guatemala-y-su-valor-consumo-de-lena-y-carbon-en-centro-america/>
- Energypedia. (s.f.). *Types of Biogas Digesters and Plants*. Recuperado el 2016 de septiembre de 2016, de https://energypedia.info/wiki/Types_of_Biogas_Digesters_and_Plants
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.
- Fernández, J. (s.f.). Energía de la Biomasa. *Energías renovables para todos*, 20.
- FIRCO, El Fidecomiso de Riesgo Compartido. (2010). *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*.
- Forcer, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central. (2002). *Manuales sobre energía renovable BIOMASA*. San José.
- Fry, J. (s.f.). *Methane Digesters For Fuel Gas Fertilizer*. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de http://journeytoforever.org/biofuel_library/MethaneDigesters/MD1.html
- FUNDAZÚCAR, Programa Mejores Familias/ Mejores Comunidades. (2015). *Plan de desarrollo integral comunitario 2015 a 2030 Aldea Francisco Vela, San Felipe, Retalhuleu*.
- GTZ, Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit. (1987). *Difusión de la tecnología de biogás en Colombia*. Santiago de Cali: Ultratextos LTDA.
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Lima.
- ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. (1983). *Manual de construcción y operación planta biogás*.
- ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. (1985). *Biogás y Bioabono Aplicaciones*.

- ICAITI, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. (1988). *Digestor para biogás construcción convencional*.
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). *Biomasa Digestores anaerobios*. Madrid.
- INE, Instituto Nacional de Estadística. (2015). *COMPENDIO Estadístico Ambiental 2014*. Guatemala.
- Instituto para un Alternativa Agraria. (s.f.). *Manual de instalación de un biodigestor familia tipo manga para zonas alto-andinas*. Catalunya.
- Kossman, W., & Pönitz, U. (1999). *Biogas Digest volumen I, basic biogas*. República Federal de Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GZT).
- Kossman, W., & Pönitz, U. (1999). *Biogas Digest volumen II, Biogas-Application and Product Development*. República Federal de Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GZT).
- Martí, J. (2008). *Biodigestores familiares Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia.
- Marti, N. (2002). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Boca Raton: Dissertation.com.
- Matton, S. (23 de junio de 2012). *Tipos de biodigestores*. Recuperado el 21 de agosto de 2016, de <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>
- MEM, Ministerio de Energía y Minas. (22 de mayo de 2016). *Ministerio de Energía y Minas, República de Guatemala*. Recuperado el 29 de agosto de 2016, de <http://www.mem.gob.gt/2014/05/firman-alianza-publico-privada-para-reducir-el-uso-de-lena-en-huehuetenango/>
- Moreno, J., Moral, R., García, J., Pascual, J., & Bernal, M. (2014). *De Residuo a Recurso El Camino de la Sostenibilidad, Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica II*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Olaya, Y. (2009). *Fundamentos pra el diseño de biodigestores*. Palmira.
- Solarizate. (s.f.). *Solarizate*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2016, de <http://www.solarizate.org/pdf/castellano/fichasalumnos/ficha11.pdf>

XI. ANEXOS

A. ANEXO 1

1. Encuesta para el diseño de un biodigestor unifamiliar

| |
|---------------------------|
| Familia: _____ |
| Dirección: _____ |
| Número de teléfono: _____ |

Instrucciones: Lea detenidamente la pregunta y luego subraye, escriba la respuesta o marque con X según sea el caso.

- La vivienda es propia
SÍ _____ NO _____
- ¿Cuántas personas habitan la vivienda? _____
- ¿Cuántos integrantes de la vivienda trabajan? _____
- A que se dedican _____
- Salario que perciben mensualmente _____
- Características

| | | | | |
|---------|---------|------------------|------|-------------|
| Cocina: | Interna | Externa | Leña | Gas propano |
| Baño: | Letrina | Inodoro cerámico | | |
- Superficie total de la vivienda _____
- Tipo de vivienda

| | | | | |
|----------|--------|------------------|----------|------------|
| Techo: | Madera | Losa de concreto | Lámina | Otro _____ |
| Piso: | Tierra | Cemento | Piedra | Otro _____ |
| Paredes: | Block | Tabique | Ladrillo | Otro _____ |
- Servicios

| | | | |
|---------------|-----------|--------------|-------------------|
| Electricidad: | Si tienen | No | otra fuente _____ |
| Drenaje: | Entubado | Fosa séptica | Otro _____ |
| Agua: | Entubada | Pozo | Otro _____ |
- Disponibilidad del agua: Todo el día _____ Solo por un par de horas _____
- Cultivos
Cultivo y ciclo de producción: _____
Extensión cultivada: _____
Destino de producción: _____
¿Utiliza abono? No _____ Sí _____
¿Qué tiempo de abono? _____
¿Aproximadamente cuanto utiliza? _____

12. ¿Tiene árboles? No Sí (especifique)_____

13. Actividades pecuarias

| No. Animales | Clase | Raza | Destino |
|--------------|-------|------|---------|
| | | | |

14. Consumo de alimento

| Tipo de alimento | Frecuencia con que se consume | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|
| | Diario | Cada tercer día | Una vez a la semana | Una vez al mes | Ocasionalmente |
| Carne de res | | | | | |
| Carne de pollo | | | | | |
| Carne de cerdo | | | | | |
| Leche | | | | | |
| Cereales | | | | | |
| Huevo | | | | | |
| Frutas y verduras | | | | | |
| Leguminosas (Frijoles, habas, lenteja) | | | | | |

15. Gestión de desechos sólidos

16. Egresos

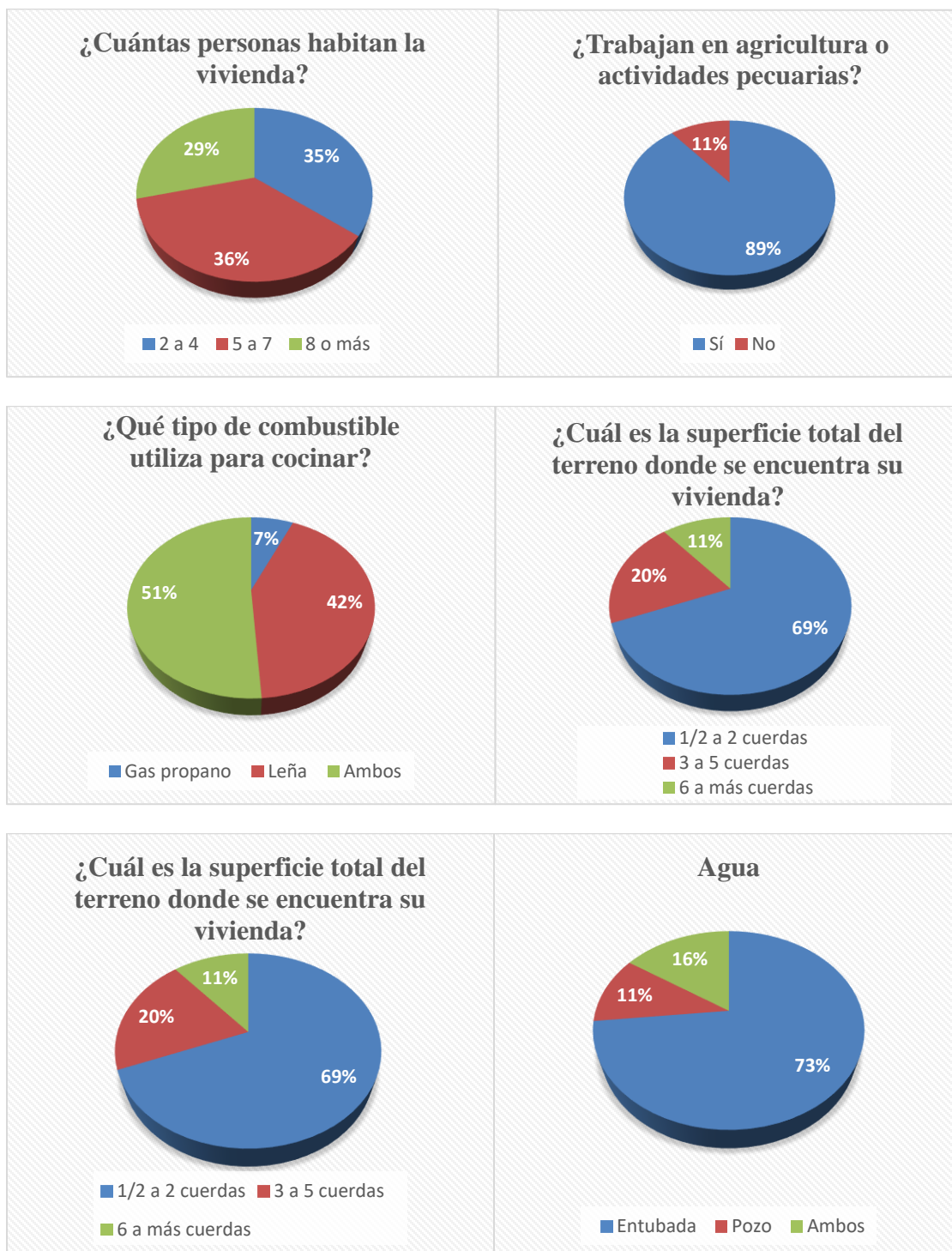
| | | | |
|-----------------|--------------|----------------|--------------|
| Gastos | Cantidad (Q) | Gastos | Cantidad (Q) |
| Alimentación | _____ | Transporte | _____ |
| Gas propano | _____ | Educación | _____ |
| Agua | _____ | Gastos médicos | _____ |
| Electricidad | _____ | Recreación | _____ |
| Teléfono | _____ | Ropa y calzado | _____ |
| Ahorro | _____ | Superávit | _____ |
| Total de egreso | _____ | Déficit | _____ |

17. ¿Sabe que es un biodigestor? _____

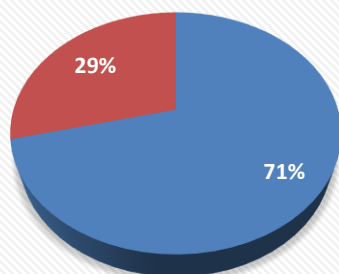
18. ¿Conoce los beneficios que proporciona un biodigestor? _____

19. ¿Estaría dispuesto a invertir en un biodigestor? _____

B. ANEXO 2

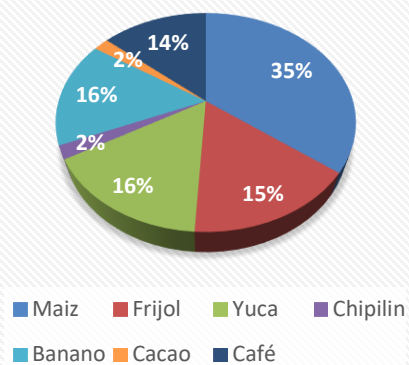


¿Tiene cultivos?



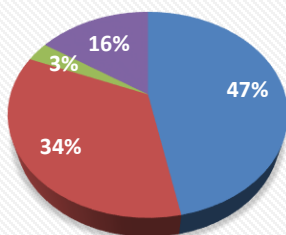
■ Sí ■ No

¿Qué cultiva?



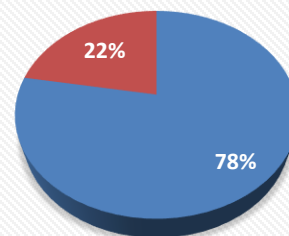
■ Maiz ■ Frijol ■ Yuca ■ Chipilin
■ Banano ■ Cacao ■ Café

Extensión cultivada



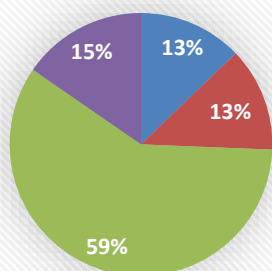
■ 1 a 15 cuerdas ■ 16 a 35 cuerdas
■ 36 a 60 cuerdas ■ 61 a 100 cuerdas

¿Se dedica a actividades pecuarias?



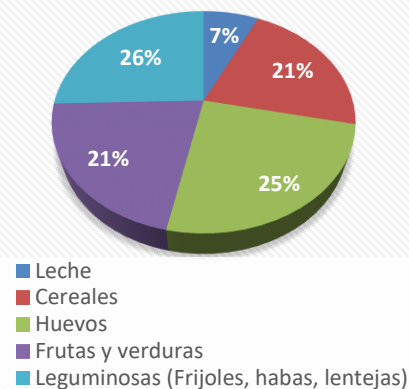
■ Sí ■ No

¿Qué tipos de animales tienen?

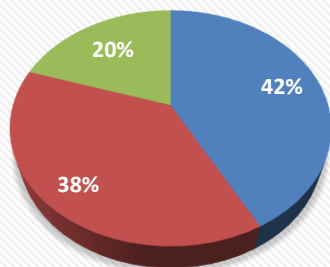


■ Vacas ■ Cerdos ■ Pollos ■ Patos

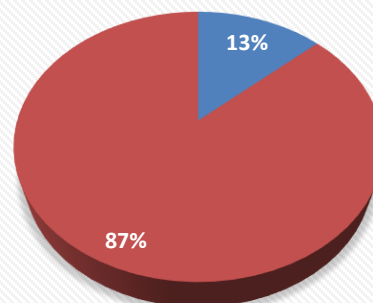
Consumo diario de alimentos



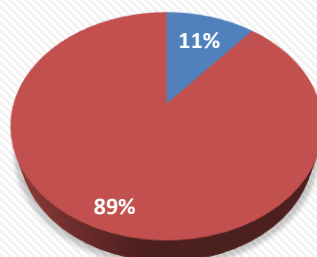
■ Leche
■ Cereales
■ Huevos
■ Frutas y verduras
■ Leguminosas (Frijoles, habas, lentejas)

Gestión de desechos sólidos

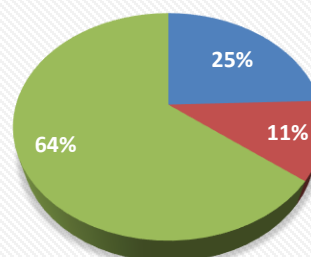
■ Utiliza tren de aseo ■ La quema
■ La tiera en su terreno

¿Sabe qué es un biodigestor?

■ Sí ■ No

¿Conoce los beneficios que proporciona un biodigestor?

■ Sí ■ No

¿Estaría dispuesto a invertir en un biodigestor?

■ Sí ■ No ■ Talvez

C. ANEXO 3

1. Dimensiones del biodigestor. Las dimensiones del biodigestor se establecen en base a los desechos orgánicos promedio que la familia produce a diario incluyendo actividades agrícolas y pecuarias. Se toman los datos de la Tabla 11 para iniciar los cálculos.

Volumen total del biodigestor. Para poder calcular el volumen total que debe tener nuestro biodigestor utilizaremos los sólidos totales, el biodigestor tubular tendrá una alimentación semi-continua por lo que el porcentaje de sólidos totales en la mezcla diaria tiene que ser de 10%. Para saber el volumen total debemos calcular la cantidad de agua que se debe mezclar con los desechos orgánicos para cumplir con el porcentaje adecuado de sólidos totales, el volumen líquido y el volumen gaseoso.

Para averiguar la cantidad de mezcla de agua (CMA), Olaya nos recomienda la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Kg ST diario}}{(\text{Kg desechos diario} + \text{CMA})} = \frac{\% \text{ ST Mezcla}}{100}$$

Despejamos CMA

$$\text{CMA} = \frac{\text{Kg ST diario} * 100}{\% \text{ ST Mezcla}} - \text{Kg desechos diario}$$

$$\text{CMA} = \frac{2.784 * 100}{10} - 6.77 = 21.07 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} = 21.07 \text{ litros al día}$$

Ahora que tenemos la cantidad de agua que se debe agregar diariamente a los desechos orgánicos para cumplir con el porcentaje de sólidos totales en la mezcla, podemos calcular la mezcla diaria (MD) del biodigestor.

$$\text{MD} = \text{Kg desechos diario} + \text{CMA}$$

$$\text{MD} = 6.77 + 21.07 = 27.84 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} = 27.84 \text{ litros al día} = 0.02784 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para saber el volumen líquido (VL) del biodigestor tenemos que multiplicar la mezcla diaria por el tiempo (TR) de retención dependiendo de la temperatura de lugar. La temperatura promedio en la aldea es de 25°C a 32°C por lo que el tiempo de retención es de 35 días.

$$VL = MD * TR$$

$$VL = 0.02784 \text{ m}^3/\text{día} * 35 \text{ días} = 0.9744 \text{ m}^3$$

En este tipo de biodigestores el 75% del volumen total lo ocupa el volumen líquido y el 25% restante es ocupado por el volumen gaseoso (VG) generado por la descomposición del VL. Así que podemos asumir que el VG es un tercio del VL.

$$VG = VL/3$$

$$VG = 0.9744/3 = 0.3248 \text{ m}^3$$

Siendo el volumen total del biodigestor tubular

$$VT = VL + VG$$

$$VT = 0.9744\text{m}^3 + 0.3248\text{m}^3 = 1.2992 \text{ m}^3 \cong \mathbf{1.3 \text{ m}^3}$$

a. Medidas de la zanja del biodigestor. Cuando ya sabemos el volumen total que debe tener nuestro biodigestor tubular, ahora podremos determinar su longitud y el diámetro que tendrá. El polietileno tubular tiene diferentes anchos entre los más comunes están 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 metros (Martí, 2008).

Tabla 13. Parámetros según el ancho de rollo

| Ancho de rollo (m) | Perímetro de la circunferencia (m) | Radio (m) | Diámetro (m) |
|--------------------|------------------------------------|-----------|--------------|
| 1 | 2 | 0.32 | 0.64 |
| 1.25 | 2.5 | 0.4 | 0.8 |
| 1.5 | 3 | 0.48 | 0.96 |
| 1.75 | 3.5 | 0.56 | 1.12 |
| 2 | 4 | 0.64 | 1.28 |

Fuente: Martí, 2008

El reactor del biodigestor tubular tiene forma cilíndrica ya que, tenemos el volumen que deberá tener utilizaremos la fórmula:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 L$$

Despejamos L

$$L = \frac{VT}{\pi r^2}$$

Con esta fórmula podemos encontrar la sección eficaz y Jaime Martí desarrollo la siguiente tabla para poder evaluar la longitud dependiendo del ancho de rollo (AR) cuando ya tenemos el volumen total del biodigestor.

Tabla 14. Longitud del biodigestor según el Ancho de Rollo

| Ancho de rollo (m) | Sección eficaz ($\pi*r^2$) m ² | Longitud del biodigestor (m) |
|--------------------|---|------------------------------|
| 1 | 0.32 | VT/0.32 |
| 1.25 | 0.5 | VT/0.5 |
| 1.5 | 0.72 | VT/0.72 |
| 1.75 | 0.97 | VT/0.97 |
| 2 | 1.27 | VT/1.27 |

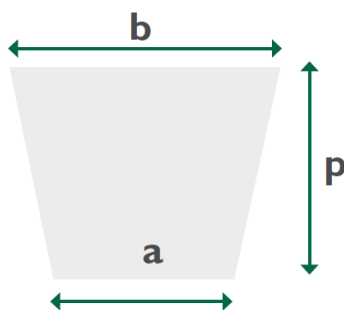
Fuente: Martí, 2008

El poder evaluar en cada AR nos servirá mucho porque podremos elegir las dimensiones de zanja que más se adapten a la disponibilidad del lugar donde se instalara el biodigestor.

Así que se calculó la longitud en los diferentes anchos y por cuestiones espacio se eligió el rollo de ancho de 1.5 metros.

$$L = \frac{1.3 \text{ m}^3}{0.72 \text{ m}^2} = 1.81 \sim 1.85 \text{ metros}$$

Figura 15. Medidas de zanja



Fuente: Martí, 2008

Tabla 15. Medidas de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)

| AR (m) | 2 | 1.75 | <u>1.5</u> | 1.25 | 1 |
|--------|-----|------|------------|------|-----|
| a(m) | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |
| b(m) | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| p(m) | 1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 |

Fuente: Martí, 2008

b. Volumen esperado de biogás. Para saber el volumen de biogás que se generara diariamente se tienen que tomar en cuenta el porcentaje de SV que tengan los desechos orgánicos utilizados en la mezcla diaria, además se debe saber el volumen de biogás que se espera generar por cada Kg de desecho orgánico (tablas anexo 4). Se hacen los cálculos con los desechos producidos diariamente.

Tabla 16. Volumen esperado de biogás al día.

| Productor | Kg/ diario | Kg sólidos totales | % SV | M3 de biogás/Kg | M3 de biogás |
|--------------------|-------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------|
| Desechos de cocina | 2.4 | 0.36 | 77% | 0.21 | 0.39 |
| Desechos pecuarios | 1.62 | 0.729 | 65% | 0.31 | 0.33 |
| Desechos agrícolas | 2.75 | 1.695 | 63% | 0.30 | 0.52 |
| Total | 6.77 | 2.784 | 68% | 0.82 | 1.24 |

Fuente: Propia

Haciendo el cálculo se estima que la producción diaria de biogás será de 1.24 m³, que podrán ser utilizados para la cocción de alimentos.

D. ANEXO 4

Figura 16. Características de los estiércoles

| Datos básicos | Ganado | |
|---|---------------------|---------------------|
| | Porcino | Vacuno |
| Cantidad de estiércol fresco/24 horas en porcentaje de peso vivo (PV) | 3% | 6% |
| Porcentaje de sólidos volátiles (SV) en estiércol fresco | 20% | 16% |
| Cantidad de estiércol por 500 Kg de PV | 15 Kg | 30 Kg |
| Cantidad de sólidos volátiles por 500 Kg de PV | 3 Kg | 4.8 Kg |
| Producción de Biogás por 100 Kg de PV | 0.25 m ³ | 0.21 m ³ |
| Producción de Biogás por Kg de SV | 0.42 m ³ | 0.22 m ³ |

Fuente: Olaya, 2009

Figura 17. Características de otros materiales orgánicos de origen animal

| Origen | Cantidad diaria | |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|
| | Estiércol en % del peso vivo | Orina en % del peso vivo |
| Caprinos y ovinos | 3 | 1.5 |
| Equinos | 5 | 4.0 |
| Avícola | 4.5 | 4.5 |

Fuente: Olaya, 2009

Figura 18. Sólidos totales en sustratos diferentes

| SÓLIDOS TOTALES EN SUSTRATOS DIFERENTES | |
|---|-------------|
| Estiércol de vacunos | 16 – 20 o/o |
| Estiércol de cerdos | 18 o/o |
| Estiércol de gallinas | 40 – 50 o/o |
| Excretas humanas | 17 o/o |
| Rastrojo y hojas de maíz | 77.0 o/o |
| Pajas de arroz | 92.6 o/o |
| Papel periódico | 93.0 o/o |

Fuente: ICAITI, 1983

Figura 19. Material Sólido (MST) y Material Orgánico Sólidos (MSO) de algunos desechos vegetales y posible producción de biogás en litros por Kg

| Material fresco | % MST | % MSO | lts gas x 1 kg MSO |
|-----------------|-------|-------|--------------------|
| Paja de arroz | 89 | 93 | 220 litros |
| Paja de trigo | 82 | 94 | 250 litros |
| Paja de maíz | 80 | 91 | 410 litros |
| Hierba fresca | 24 | 89 | 410 litros |
| Jacinto de agua | 7 | 75 | 325 litros |
| Bagazo | 65 | 78 | 160 litros |
| Des de verdura | 12 | 86 | 350 litros |
| Des org cocina | 15 | 10 | 250 litros |

Fuente: GTZ, 1987

Figura 20. Valores del porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles

| Material (residuos secos) | % Humedad (H) | % Sólidos totales (%ST) | % Nitrógeno (N) | % Carbono (C) | % Sólidos volátiles (%SV) | C/N |
|---------------------------|---------------|-------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|-------|
| Gallinaza | 65.0 | 35.0 | 6.3 | 94.5 | 65.0 | 15.0 |
| Bovinaza | 86.0 | 14.0 | 1.7 | 30.8 | 80.0 | 18.0 |
| Porquinaza | 87.0 | 13.0 | 3.8 | 76.0 | 85.0 | 20.0 |
| Basura de mercado | 1.0 | 99.0 | 3.0 | 54.7 | 77.0 | 18.0 |
| Papel periódico | 7.0 | 93.0 | 0.1 | 5.0 | 97.1 | 813.0 |
| Desechos agrícolas | 7.2 | 37.0 | 1.2 | 90.0 | 63.0 | 75.0 |
| Humanaza | 73.0 | 27.0 | 6.0 | 50.0 | 92.0 | 8.0 |
| Orina | 94.0 | 6.0 | 18.0 | 14.0 | 75.0 | 0.8 |

Fuente: Olaya, 2009

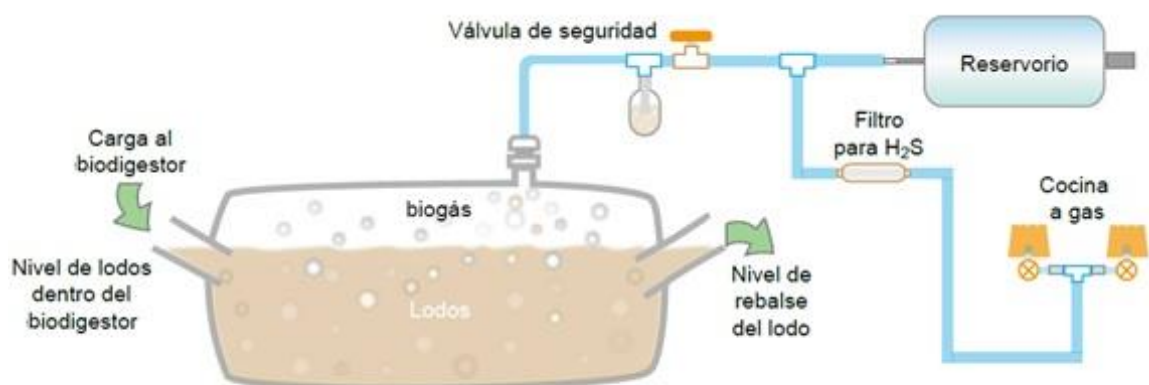
Figura 21. Biogás producido en función de los sólidos volátiles

| Material | Proporción (%) | M ³ de biogás / Kg de materia | CH ₄ (%) |
|--------------------|----------------|--|---------------------|
| Gallinaza | 100 | 0.3111 | 59.8 |
| Bovinaza | 100 | 0.0871 | 65.2 |
| Porquinaza | 100 | 0.3234 | 65.0 |
| Basura de cocina | 100 | 0.2110 | 61.9 |
| Residuos de papel | 100 | 0.2178 | 67.1 |
| Desechos agrícolas | 100 | 0.2999 | 60.0 |

Fuente: Olaya, 2009

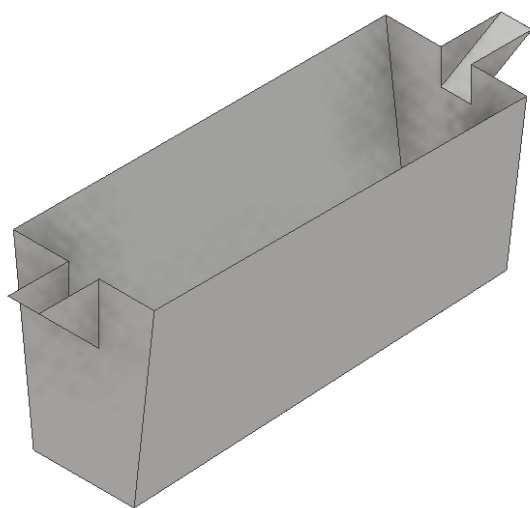
E. ANEXO 5

Figura 22. Esquema básico de biodigestor tubular unifamiliar



Fuente: (Cotrina & Villanueva, 2013)

Figura 23. Esquema zanja



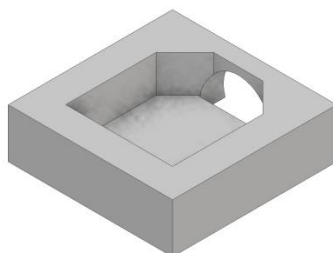
Fuente: Propia

Figura 24. Esquema reactor



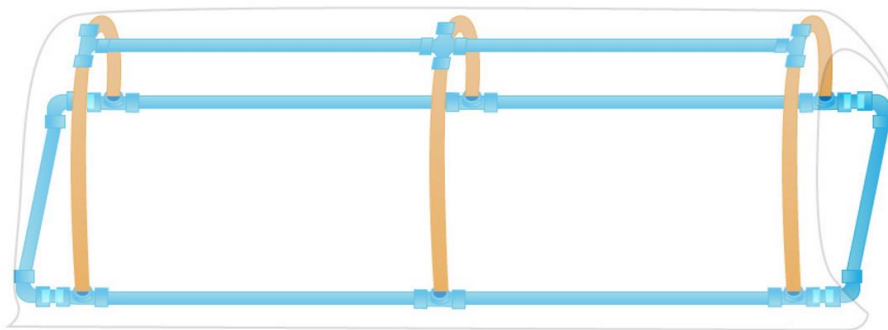
Fuente: Propia

Figura 25. Esquema poza entrada/salida



Fuente: Propia

Figura 26. Esquema básico invernadero



Fuente: Semillas orgánicas, 2016

Figura 27. Reactor con tubos de entrada y salida



Fuente: Martí, 2008

Figura 28. Biodigestor instalado, con invernadero



Fuente: Cotrina & Villanueva, 2013

XII. GLOSARIO

Anaerobio: Que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

Relación C/N: Mide la rapidez con la que se descompone la materia orgánica y su riqueza en nitrógeno.

Macronutriente: Son aquellos nutrientes que suministran la mayor parte de la energía metabólica del organismo.

Micronutriente: Son aquellas sustancias químicas que, ingeridas en pequeñas cantidades, permiten regular los procesos metabólicos y bioquímicos

PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Humus: Es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por los organismos y microorganismos benéficos (hongos y bacterias).

Lixiviación: Se llama así al fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus) causado por el movimiento de agua en el suelo, y es, por lo tanto, característico de climas húmedos.

Silvicultura: Conjunto de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y la explotación de los bosques y los montes.

Azolamiento: Acción de azolvar u obstruir un conducto.