

## **I. INTRODUCCION**

El presente trabajo investigativo se llevó a cabo en el contexto de varias iniciativas productivas, agro artesanales, agro industriales y turísticas a pequeña y mediana escala, mismas que se han desarrollado en la Zona de Intag, principalmente durante esta última década y entre las cuales se pueden citar la producción, procesamiento y comercialización de café orgánico, la implementación y manejo de fincas agroecológicas, la obtención de panela granulada y la elaboración de jabones y shampoo a partir de aloe vera. Todo esto se enmarca en un esfuerzo productivo de organización social y comunitaria, con un claro enfoque en los principios de sustentabilidad, especialmente ambiental.

En este contexto, el presente trabajo contribuye a este esfuerzo de la comunidad con la búsqueda de soluciones prácticas que sustituyan el uso de combustibles y/o energías no renovables y, a la vez, contribuyan en la prevención de la contaminación por heces animales y/o humanas en zonas rurales.

Se trata de adaptar de una tecnología sencilla y práctica para la generación de *gas natural* a partir de los insumos de la misma finca, en este caso las heces porcina y humana, y la obtención del subproducto *bioabono líquido*, con beneficios tales como el ahorro o reemplazo parcial de leña y/o gas convencional, disminución del riesgo de afección a la salud por humo y dispersión de heces al aire libre, mejoramiento del manejo porcino, fertilización de los suelos de cultivo. Menos tangible pero al menos mencionable, es el hecho de que este proceso puede verse

como un práctico ejemplo de lo que muchos denominan una *solución local a un problema global*, esto en referencia al cambio climático por efecto de los gases de invernadero.

El trabajo se justifica porque es un primer paso para tratar de disminuir la presión sobre el bosque y cubrir un porcentaje de las necesidades energéticas de un hogar rural. Aun cuando no se obtuvieron altos rendimientos, es importante señalar la necesidad de continuar una investigación que mejore los procesos y asegure la producción de biogás.

Además, este trabajo ha permitido demostrar que si es posible utilizar este tipo de instalaciones para un mejor manejo de las excretas humanas producidas por una o varias familias, siempre que estén cercanas y haya absoluto consenso. Para pequeñas y/o medianas poblaciones rurales se sugiere emprender otros trabajos investigativos específicos.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Realizar un estudio comparativo de la producción de biogás, con la utilización de materia prima alternativa excretas sólidas y líquidas del hombre; frente a la materia fecal de los cerdos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico socio ambiental del lugar en el que se realizará la investigación.
- Diseñar y construir el sistema de biodigestión.
- Realizar pruebas de eficiencia del biodigestor.
- Generar energía para la familia involucrada en la investigación.
- Socializar esta tecnología en la zona de Intag.

## **1.3. Pregunta**

¿Un biodigestor produce biogás de manera eficiente a partir de una mezcla de excretas humanas y de cerdos?

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

En este capítulo se realiza una revisión de la historia de los biodigestores a nivel mundial, como han evolucionado hasta la actualidad, cuando aparecen estas experiencias. Asimismo se describe la transformación que sufren los excrementos fecales en el proceso anaerobio, los productos que se obtienen luego de este proceso, las características y usos que se les da comúnmente. También se describe algunas formas de evaluar la eficiencia y finalmente se refiere a los componentes básicos y requisitos de construcción de un biodigestor.

### **2.1. Historia y desarrollo de diferentes tipos de biodigestores**

De acuerdo a la literatura revisada, en la India se habría construido la primera instalación o generador de biogás, por los años 1900; en la actualidad existen alrededor de doscientas mil unidades. Pero en la China – en la actualidad – donde podemos encontrar cerca de 7 millones. (Lugonés<sup>1</sup>, 2000)

Por su parte en Inglaterra antes de los años 1895 ya se había experimentado esta tecnología, inclusive habrían utilizado la misma para alumbrado público de calles.

Por otra parte se argumenta luego de la Segunda Guerra Mundial, la escasez de combustible, hizo que aumentaran las investigaciones en este campo, derivando de ahí la tecnología de los biodigestores, sin embargo ésta no dura muchos años

---

<sup>1</sup> Miembro de Cubasolar, organismo gubernamental cubano, especializado en energía alternativa.

debido a que depende de altas temperaturas y para el caso de Europa esta fue un limitante para la proliferación. (GTZ, CVC, 1987)

En la misma Europa hacia el año de 1911, en la ciudad de Birmingham se empieza operando con los pozos sépticos que posteriormente serviría como base tecnológica de la digestión anaerobia capaz de producir electricidad pero sobre todo capacidad de acopiar y procesar las aguas servidas de una gran ciudad. En la actualidad grandes ciudades de Estados Unidos utilizan esta base tecnológica en sus plantas de tratamiento de aguas residuales. (Turzo et al 1984).

En la actualidad se han desarrollado varios tipos de biodigestores los cuales de acuerdo a los arreglos tecnológicos o mejoramiento respecto de la eficiencia han sido designados con tal o cual nombre, así los biodigestores convencionales tienen inicio en la década de los 50, basada en la tecnología aplicada por los franceses y alemanes quienes producto de la crisis utilizaron digestores para obtener combustible para los tractores y calefacción para sus viviendas; sin embargo luego de la Segunda Guerra Mundial, llegan nuevamente los combustibles fósiles y regresan a la comodidad de estos. (Turzo et al 1984).

## **2.2. Tipos y características de biodigestores**

Existen en la actualidad varias plantas o sistemas de biodigestión, pero los más comunes son el hindú, chino y los tipo bolsa que son una combinación de estos dos últimos, algunos autores también señalan una clasificación más amplia

tomando en cuenta los procesos de fermentación, de esta manera ultima también estarían incluidas desde las lagunas de oxidación, rellenos sanitarios, pozos sépticos, digestores convencionales, digestores tipos bolsa, digestores de alta velocidad o flujo inducido, digestores de segunda o tercera generación.

Con este antecedente se realiza una revisión a partir de los digestores que se establecen como sistema generador de biogás y efluente líquido.

### **2.2.1. Digestores convencionales**

#### *a) Digestores sistema hindú*

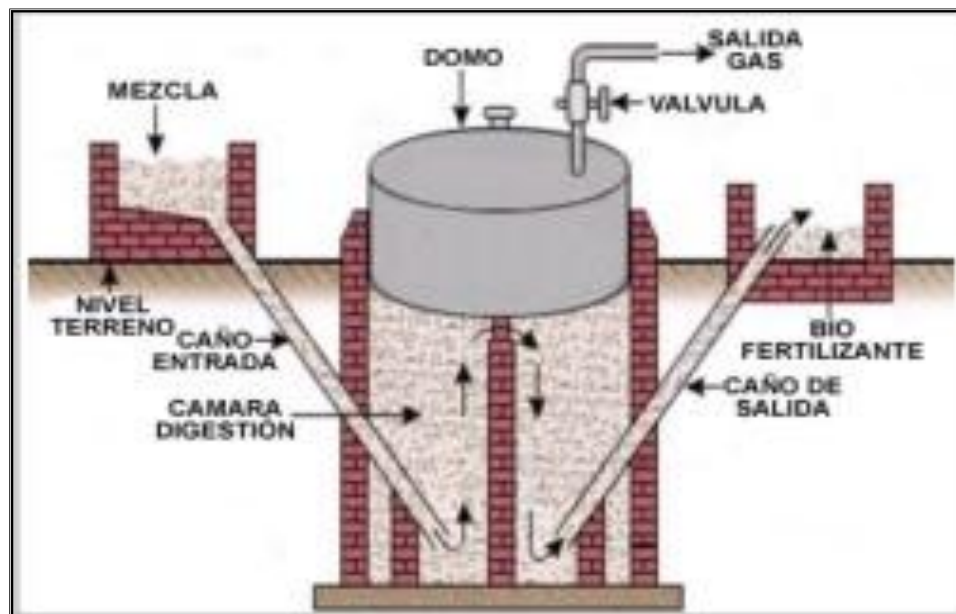
Este es un sistema que fue desarrollado en la India de ahí su nombre. Este tipo de digestor está compuesto por un tanque o pozo generalmente de mampostería, enterrado en el suelo utilizando la tierra como aislante para evitar pérdidas de calor y como soporte de las paredes que ayude a contrarrestar la presión hidrostática interna de la Biomasa en fermentación.

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. Recibe carga orgánica mezclada con agua en una proporción de 1:1 y máximo de 1:5, por un tubo que conecta con la parte

inferior del tanque. Esta carga fresca desplaza por simple rebose de la parte superior a la que allí se encuentra y que se recolecta en un tanque externo para tal fin. El efluente hidrolizado se utilizará posteriormente como abono orgánico digerido o como suplemento alimenticio, rico en proteínas, para la cría de peces o de animales domésticos en general. (Lugonés, 2000).

**Figura N° 1**

**Sistema de biodigestión Hindú**



**Fuente:** Fundación Argentina para el Desarrollo Humano Ambiental

***b) Digestores sistema chino***

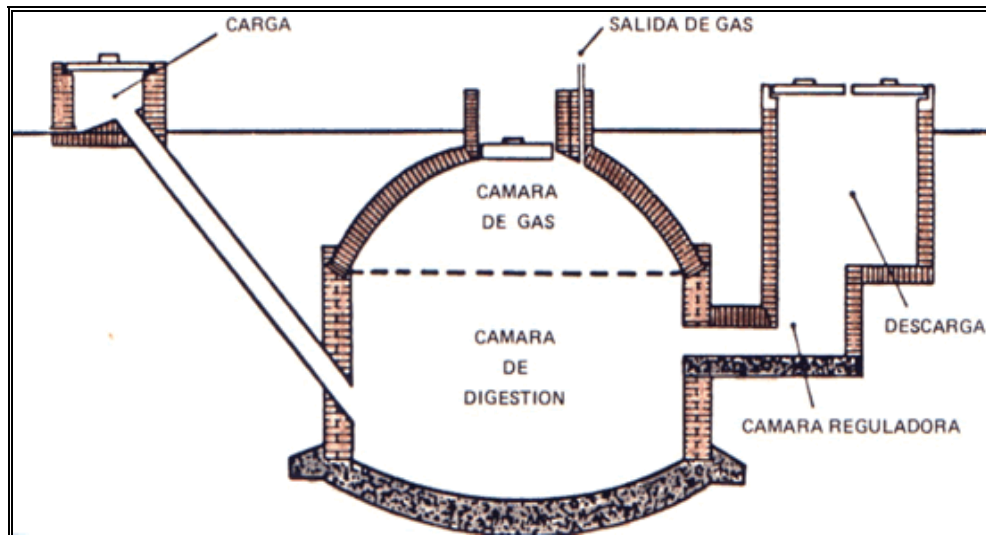
Es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana movible y totalmente enterrado. Igual que el modelo hindú, recibe la carga fresca por un conducto que la lleva a la parte baja y entrega el efluente, por rebose, a un

depósito externo en la parte superior. Este tipo de biodigestores tienen algunas dificultades, podríamos citar algunas:

- En la parte estructural, este tipo de biodigestor no soporta la presión en caso que el tamaño del mismo sea muy reducido.
- Pero uno de los problemas más acentuados es el que está relacionado con la presión y la permeabilidad del gas producido. Debido a la gran variación de presión, cuando la misma tiene su pico más alto, las paredes se vuelven más permeables, lo que dificulta el manejo del gas metano para fines domésticos.

**Figura N° 2**

**Digestor sistema chino**



**Fuente:** Fundación Argentina para el Desarrollo Humano Ambiental



### **2.2.2. Digestores tipo bolsa**

Este modelo fue desarrollado en la isla de Taiwan, pero el Gobierno de la antigua Alemania Federal, a través de una dependencia de ayuda externa, la GTZ, fue quien lo promovió, dentro de campañas de cooperación técnica en los países Africanos.

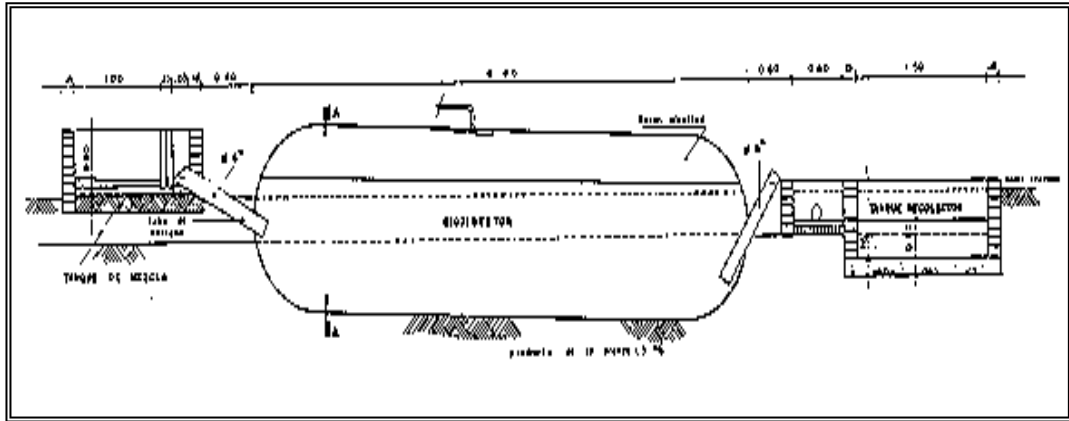
Se trata de aplicar las mejores características técnicas de los modelos Hindú y Chino. Consiste de una bolsa de plástico o caucho, en forma de salchicha, que se acomoda sobre el piso a lo largo de una zanja en el terreno para que esté parcialmente sujeto por la tierra en los bordes. La carga fresca entra por un extremo y la descarga se hace por el opuesto.

El Gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Al ser hermético se reducen las pérdidas, pero por su fragilidad requiere disciplina social de las personas que lo manejan o que están a su alrededor, para evitar que lo dañen con algún objeto corto punzante; también es un inconveniente su corta vida, pues al estar a la intemperie, los rigores del clima lo deterioran en pocos años. (Botero, 1987)

**Figura N° 3**

**Sistema de biodigestión tipo bolsa**



**Fuente:** AEA, Alianza en Energía y Ambiente con Centroamerica

**2.2.3. Digestores de alta velocidad o flujo inducido**

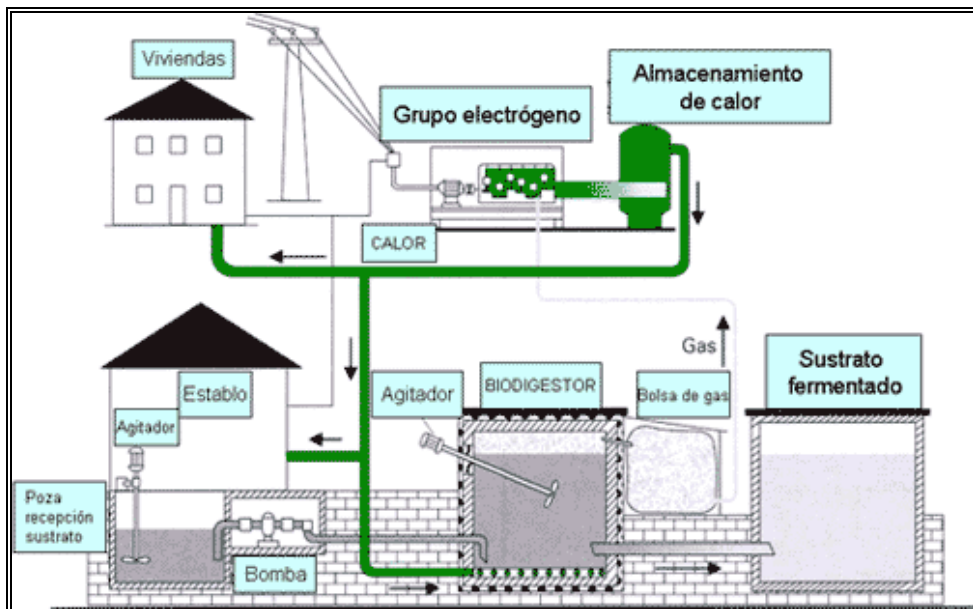
Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado. Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digester). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días. (Sasse 1986)

Además de la ventaja que significa el menor tiempo de operación, existen otras como el evitar la formación de una costra de material dentro del digester; lograr la

dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema; ayudar a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión; mantener una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes; inhibir el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño; permitir una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor; mejorar las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor. (Marchaim 1992)

**Figura N° 4**

**Digestores de alta velocidad o flujo inducido**



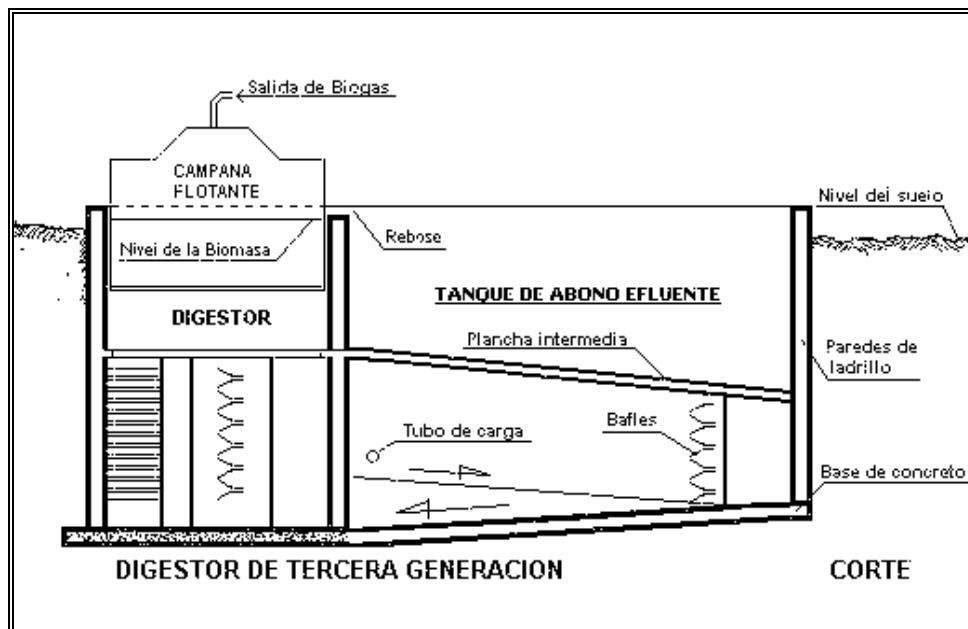
Fuente: Infantes, 2006

#### **2.2.4. Digestores de segunda generación y tercera generación**

Este es una combinación de los biodigestores Indú y Chino, llamándolos a estos los de primera generación y a los readecuados los de segunda y tercera generación, que en su parte medular, no es más que la implementación de varios biodigestores que cumplen la digestión anaerobia en las diferentes etapas contempladas en la misma hace un resumen de su funcionamiento y requerimientos “se procesa en digestores convencionales en tandas o carga única, en ciclos de 60 a 80 días, lo que supone que para el suministro de gas y efluente durante un año, se debe disponer mínimo de cuatro unidades de deposito de recarga” (Pedraza, 2000)

**Figura N° 5**

#### **Sistema de biodigestión de tercera generación**



Fuente: Infantes, 2006

### **2.3. PROCESOS QUE SE PRODUCEN EN LA BIODIGESTIÓN**

Anteriormente digestión anaerobia fue considerada como un sistema bifásico, compuesto por la fase no metanogénica en que las bacterias anaerobias transformaban los substratos en productos solubles y gaseosos incluyendo acetatos, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y otra la metanogénica donde las bacterias formadoras de metano (CH<sub>4</sub>) utilizaban el acetato, mezclas de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> entre otros sustratos para su metabolismo. Los términos con que se han identificado estas fases (acidificación y gasificación) no fueron del todo correctos; por cuanto, en la primera etapa no todos los productos que se forman son ácidos; así como que no todos los productos gaseosos son derivados de la llamada etapa de gasificación (López y Novoa 1991). Desde hace varias décadas atrás ya se había identificado que en los procesos de digestión anaerobia existen cuatro grupos tróficos de bacterias las cuales se les ha encasillado de acuerdo a la función desarrollada por las mismas. (Pablo Infantes Chávez, 2006)

El conocimiento de los factores microbiológicos y bioquímicos que ocurren en la fermentación metanogénica es indispensable para entender la cinética de este proceso, y esto permite controlar e incidir sobre ellos para obtener resultados satisfactorios.

Hoy se admite que en la fermentación bacteriana intervienen poblaciones microbianas diversas, en la que se distinguen cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Scriban, 1982; Marchaim, 1992).

*Etapa hidrolítica en la biodigestión*, en esta etapa se establece una hidrólisis generalizada de la materia orgánica compleja adicionada al digestor, realizada por enzimas producidas por diversas bacterias: proteolíticas, lipóticas y carbolíticas, que destruyen inicialmente las proteínas, grasas y carbohidratos presentes, las cuales convierten en otros productos como el ácido acético, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados.

La hidrólisis es una etapa que incide en gran medida en la obtención de biogás y el líquido residual, ya que acelerando dicho proceso se logra una secuencia de tarea en las bacterias involucradas en la digestión.

*Etapa de acidogénesis*, el producto de la primera etapa, es tomado por un segundo tipo de bacterias, conocidas generalmente como acidogénicas, que transforman la materia orgánica hidrolizada, en ácidos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y ácido propiónico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>.COOH). Estas bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno, las cuales incluyen obligatoriamente a las dos especies facultativas que pueden transformar los productos del primer grupo, los ácidos orgánicos de más de dos átomos de carbono, por ejemplo el butírico y el propiónico y los alcoholes policarbonados como el etanol y el propanol en hidrógeno y acetato. Seguidamente se activa la tercera etapa en donde procesan las *bacterias homoacetogénicas* las cuales pueden convertir un espectro amplio de compuestos multi o monocarbonados en ácido acético (Sosa R, 2002).

*Etapa metanogénica*, en esta etapa las bacterias llamadas metanogénicas transforman todos estos compuestos en gas metano y dióxido de carbono. El

comportamiento microbiológico es más complejo que las etapas anteriores; dentro de un biodigestor en operación ocurren multitud de reacciones y fermentaciones simultáneas de docenas de bacterias diferentes, que trabajan de forma simbiótica y elaboran gran variedad de productos, que a su vez son tomados por otras bacterias que transforman para otros grupos. Por lo anterior, con el biogas se encuentran trazas de Hidrógeno ( $H_2$ ), Nitrógeno ( $N_2$ ), Acido Sulhídrico ( $H_2S$ ) y otros. (Soria, 2001)

Casi un 75% del Gas Metano producido durante el proceso, proviene del ácido acético formado en los pasos intermedios. El Hidrógeno producido por algunas bacterias se recombina en forma casi instantánea con dióxido de carbono para formar metano y agua en un proceso llamado de biometanización.

Una vez establecida la reacción metanogénica total, con la adición de las bacterias adecuadas en cantidad y calidad suficientes y se haya estabilizado el pH de la misma por encima de 7.2, la reacción es muy estable y la gran cantidad de Bio masa en fermentación actúa como una solución Buffer, que se opone a cualquier cambio brusco dentro de ella. Si por algún motivo se llegara a bajar el pH a 6.5 o menos, cesa completamente la producción de metano, pero la fermentación continuaría, produciendo principalmente dióxido de carbono.

### **2.3.1. Factores que inciden en la biodigestión**

#### **2.3.1.1 pH del medio**

El valor óptimo de pH está en el rango de 6.6 a 7.6 Los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que se producen durante el proceso de digestión

reducen el pH en la fase líquida del digestor. Si las bacterias metanogénicas no pueden convertir los AGCC tan rápidamente como son formados por las bacterias acetogénicas, los AGCC se acumularán y causarán un descenso en el pH del medio. Sin embargo, el equilibrio  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$  en el digestor ejerce una resistencia sustancial a los cambios de pH. (Yongfu et al. 1989, citado por Domínguez, 2006)

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

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



naturaleza de los desperdicios a procesar, el sistema de operaciones y el tipo de proceso, se han desarrollado guías para calcular los requerimientos de sustancias buffer (Pohland y Suidon 1978, citado por Domínguez, 2006).

### **2.3.1.2 Temperatura**

La velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas se incrementa normalmente cuando se eleva la temperatura. Una temperatura muy alta puede causar una declinación en el ritmo metabólico del proceso, debido a la degradación de las enzimas que son esenciales para la vida celular. Los microorganismos tienen un crecimiento y ritmo metabólico óptimos dentro de un rango de temperatura muy bien definido, y que es específico para cada especie bacteriana. Particularmente, el límite superior depende de la termoestabilidad de las moléculas de proteína sintetizadas por cada tipo particular de organismo. (Domínguez, 2006)

La variación de temperatura puede ser más importante que un valor fijo de temperatura como factor que influye en la estabilidad del proceso. Las bacterias metanogénicas son más sensibles a los cambios de temperatura que los otros microorganismos del digestor. Esto es debido a que la velocidad de crecimiento de los otros grupos bacterianos es mayor que la de las metanobacterias. Todos los microorganismos presentes en el

biodigestor pueden resistir cambios variables de temperatura hasta un lapso de dos horas aproximadamente, y pueden retornar rápidamente a los ritmos normales de producción de gas cuando la temperatura se restablece. Sin embargo, cuando la temperatura cae numerosas veces o por un tiempo prolongado, esto puede conducir a un desbalance en la proporción de los microorganismos y en última instancia a problemas de bajos pH (Gunnerson y Stuckey 1986).

Se han detectado dos regiones de temperatura para la digestión de las excretas (Gunnerson y Stuckey 1986). El primer rango es apropiado para la vida de las bacterias mesofílicas (de 20 a 45oC) y el segundo rango es característico de bacterias termofílicas (de 35 a 55oC). Una ventaja de una digestión termofílica es que el ritmo de producción de metano es aproximadamente el doble de una digestión mesofílica. Por consiguiente, los biodigestores termofílicos pueden tener la mitad del volumen de uno mesofílico, y aún mantener así la misma eficiencia en el proceso. Se han llevado a cabo muchos estudios de procesos termofílicos en países de la zona templada del mundo (Gunnerson y Stuckey 1986). Sin embargo, con excretas y residuos fecales que están a temperatura ambiente, se necesita considerable energía para elevar la temperatura de este material hasta 55oC.

### **2.3.1.3 Nutrientes**

Junto con una fuerte de energía en forma de carbono orgánico, los microorganismos requieren nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que originan efectos complejos. El nivel de nutrientes para la microflora debiera ser por lo menos superior al valor óptimo, desde el punto de vista de la concentración requerida para las bacterias metanogénicas, puesto que este grupo de microorganismos se inhibe severamente con una deficiencia ligera de nutrientes. Sin embargo, la deficiencia nutritiva no debiera ser un problema cuando se suministran alimentos combinados a los animales, puesto que estos sustratos proveen usualmente más que suficiente desde el punto de vista de cualquier requerimiento. (Domínguez, 2006)

Puesto que los distintos materiales que se fermentan en el biodigestor tienen diferentes composiciones químicas, la producción de biogás se producirá a distintos ritmos. Yongfu et al. (1989).

### **2.3.1.4. Problemas de toxicidad**

Los compuestos tóxicos, aún en concentraciones bajas, influyen negativamente en el proceso de digestión al disminuir la velocidad del metabolismo de la microflora. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque en general todos los grupos de

microorganismos que participan en el proceso son afectados. Debido a su lento crecimiento, la inhibición de las metanobacterias puede llevar a un fallo completo en el proceso en sistemas mixtos, debido a un desbalance en la población bacteriana. Los dos principales indicadores de que hay algún tipo de inhibición en el proceso son la disminución en la producción de metano y un incremento en la concentración de AGCC en el medio.

En el caso del nitrógeno, es muy importante mantener un nivel óptimo en su concentración para que el biodigestor opere satisfactoriamente. Un desbalance consistente en un contenido alto de nitrógeno y una baja disponibilidad de energía causa una toxicidad por una indebida generación de amoníaco. Esta situación ocurre raramente en áreas rurales de países en desarrollo debido a las limitaciones en el contenido de nitrógeno en el suelo y los alimentos para los animales y seres humanos. Las concentraciones altas de AGCC pueden asociarse también a procesos de toxicidad.

Deben tomarse precauciones para evitar la entrada en el biodigestor de ciertos iones metálicos, sales, sustancias bactericidas o sintéticas como las indicadas por Yongfu et al. (1989). Se notado una reducción leve en la producción de gas cuando las excretas procedían de animales tratados con antibióticos. Por otra parte, de acuerdo con algunos investigadores, los microbios productores de biogás pueden sobreponerse a estos inhibidores mediante un proceso adaptativo (Youngfu et al. 1989).

#### **2.3.1.5. Ritmo de carga**

Normalmente, las excretas animales suelen tener una concentración de materia seca por encima del 10%. Puesto que los requerimientos de operación de un sistema anaerobio establecen que el contenido total de materia seca en la carga no puede exceder este valor de 10%, en muchos casos, los desperdicios de la granja deben diluirse antes de cargar al biodigestor.

El ritmo de carga de materia esta estrechamente ligado al rendimiento de biogás producido por unidad de masa de materia seca o materia orgánica. La fermentación en el biogás requiere de un cierto rango de concentración de materia seca. La concentración óptima depende de la temperatura. Se ha encontrado que en el verano de algunos países (25 a 27oC), la concentración óptima es de 6%, mientras que a temperaturas algo más bajas en primavera (18 a 23oC), la temperatura óptima es de 12% (Yongfu et al. 1989).

#### **2.3.1.6. Tiempo de retención**

Debido a que el proceso de producción de gas es lento, mientras más tiempo estén las sustancias descargadas en el biodigestor, mayor será la producción de gas en términos absolutos por unidad de sustrato. Hay dos índices para identificar la retención de las sustancias en el digestor. El

tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRS) se determina al dividir el monto de MO o SV cargados en el digestor, entre la cantidad de MO que sale del sistema diariamente. Se asume que el TRS representa el tiempo de retención promedio de los microorganismos en el digestor. El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la proporción entre el volumen del reactor o digestor, dividido por la carga diaria. Estos índices son importantes en los digestores de última generación.

## **2.4. PRODUCTOS OBTENIDOS, CARACTERÍSTICAS Y USOS**

### **2.4.1. Biogás**

Se trata de combustible gaseoso, gas metano, que se produce a partir de la descomposición de residuos sólidos urbanos, excremento y orines de animales de corral y ganado, y desperdicios de plantas de procesamiento de alimentos. (Crespo 2001, pag1), en donde el rol principal juegan las bacterias metanogénicas.

Otra definición dice que el biogás, es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas, siendo parte del ciclo biogeoquímico del carbono, siendo el metano el último eslabón en la cadena de descomposición producida por microorganismos. (INDE, 1988)

El valor calorífico de biogás está entre los valores de 5 a 6 kWh por metro cúbico. Lo que quiere decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a medio litro de diesel aproximadamente (D. Del Norte, 2002)

### **Composición química del biogás y sus porcentajes relativos**

Los principales componentes del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación (Werner et al 1989)

**Tabla N° 1**  
**Composición química del gas**

Metano, CH <sub>4</sub>	40 - 70% volumen
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	30 - 60
Sulfuro de hidrógeno, H <sub>2</sub> S	0 - 3
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	0 - 1

Fuente: Werner

### **Algunos usos del biogás**

Existen múltiples usos del biogás así por ejemplo se indica que un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para generar 1.25 kwh de electricidad, generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt, poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante una hora, o hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad 30 minutos o hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas. (Sosa, 2002). En principio, todos los motores pueden ser adaptados a biogás, pero los más comúnmente usados son los motores de gas-Otto y los de gas-Diesel. Esto quiere decir que un metro cúbico de biogás puede compararse con 0.4 kg de aceite diesel, 0.6 de petróleo o 0.8 kg de carbón. (Dohne, 1998).

Este efluente gaseoso llamado biogás puede ser utilizado tanto en el hogar como en la unidad de producción directamente.

En el hogar uno de los usos más importante es para cocinar o preparar los alimentos. Con esto se ahorra leña o bien dinero directamente al no comprar otro tipo de combustible para ello.

El biogás que producen los biodigestores también pueden ser utilizados en la unidad de producción para el calentamiento de las crías recién nacidas de los cerdos y aves, ahorrando de esta manera energía eléctrica y/o combustibles fósiles que se utilizan para que funcionen los generadores eléctricos.

Otra aplicación del biogás está en el secado del café. Este aspecto es de particular importancia para las zonas cafetaleras de Colombia, caracterizadas por bajas temperaturas nocturnas y altas precipitaciones. (Beteta H.T. 1996)

#### **2.4.2. Efluente Líquido o Bioabono**

Su significado más simple nos da entender que se trata de un líquido producido por algún elemento de la naturaleza que tiene vida, pero tratándose de un estudio la definición tiene que ser más técnica. (Werner et al 1989) refiriéndose al efluente dice que es un líquido de gran contenido orgánico que sirve como fertilizante en pequeñas cantidades.

El bioabono es un subproducto del biogás, este es un abono en forma de líquido, el mismo que se utiliza para regar los cultivos, los mismos que se



están beneficiando de los nutrientes que su composición posee (ICAITI, 1999).

### **Composición del efluente líquido o bioabono**

Como característica del bioabono es que el efluente no sale con malos olores; el pH del bioabono varía entre 6,9 a 7,5 lo que permite regar en algunos casos directamente a los cultivos, sin tratamiento previo.

**Tabla N° 2**  
**Composición química del biogás**

Nitrógeno	3 %
Fósforo	1,5 %
Potasio	1 %
Materia orgánica	85 %

Fuente: Werner

### **Usos del efluente líquido**

El efluente puede ser utilizado como fertilizante en diferentes cultivos, puede utilizarse tanto en cultivos perennes como en árboles forrajeros que sirven de alimento para el ganado. Por su alto valor nutritivo para las plantas, el efluente se usa preferentemente en cultivos anuales como es el caso de las hortalizas como la zanahoria, rábano, lechuga, cebolla, ajo, etc. La alta calidad del efluente como fertilizante radica en que después de haber transcurrido el proceso de biodigestión, todos los nutrientes y más de la mitad de la materia orgánica permanecen aún en el mismo.

Al mismo tiempo, el efluente del biodigestor cumple una función fitosanitaria ya que actúa como repelente contra insectos- plagas de los cultivos. El efluente es muy utilizado para fertilizar plantas acuáticas, plantas ornamentales y también encuentra aplicación para el cultivo de peces, pues se fertilizan los estanques para producir algas y fitoplancton que consumen los peces (Vega, 2000).

## **2.5. EFICIENCIA Y EVALUACIÓN DE EFICIENCIA EN BIODIGESTORES DE POLIETILENO**

De acuerdo a las necesidades y objetivos de investigación se han realizado los análisis de eficiencia y evaluación en distintos lugares y con resultados que difieren en la forma de expresarlos, desde luego en el caso nuestro se ha tomado de referencia sistematizaciones que responden a nuestras intenciones investigativas.

Un biodigestor de tamaño promedio para una familia rural tiene un volumen total de 7,2 m<sup>3</sup>, con una fase líquida de 5,1 m<sup>3</sup> (75 % del total de la capacidad) y 1,8 m<sup>3</sup> para el almacenamiento del biogás (25 % del total de su capacidad). EL biodigestor de polietileno recibe una carga diaria de 21,6 kg de excrementos frescos mezclados con 86,4 kg de agua. Esto representa una carga anual de 7 885 kg de excrementos frescos y 31 536 kg de agua. Ocho cerdos adultos o una vaca lechera adulta pueden producir la cantidad necesaria por día (Aguilar y R. Botero, 2004). La mezcla de excrementos frescos y agua es necesaria para mantener un flujo continuo de material orgánico dentro del biodigestor. (Aguilar y R. Botero,

2004) sugieren esta mezcla en proporción 1/4, (excrementos/agua) para reducir la concentración de sólidos de 15 % en el material fresco a 3 % - 4 % en el material cargado dentro de la planta de biogás.

Durante el proceso de digestión anaeróbica dentro del biodigestor de polietileno, el carbono es el único elemento que es emitido en cantidades considerables bajo condiciones normales (Hedlund y Xuan An, 2000). Otros nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) se mantienen en iguales cantidades, pero salen en una mayor concentración en el efluente, dado que el estiércol ha sido digerido dentro del biodigestor y se ha reducido su volumen.

A continuación (Figura N° 6) se muestra el potencial de producción de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) por un año. También incluye resultados que pueden ser obtenidos bajo dos tiempos de retención distintos: 20 y 50 días. El tiempo de retención representa el número de días que el material orgánico permanece dentro del biodigestor de polietileno para su digestión. El total de CH<sub>4</sub> producido en un año tiene un valor energético equivalente a 13 600 MJ. (Hedlund y Xuan An, 2000).

**Figura N° 6**

**Producción de biogás al año en 7885 kg de excrementos porcinos**

Gases	Volumen (%) †	Litros producidos al año	
		Xuan An <i>et al.</i> (1997b)	Botero y Preston (1986)
CH <sub>4</sub>	60,0	384 345	450 775
CO <sub>2</sub>	33,2	196 312	230 242
H <sub>2</sub>	1,0	5913	6935
N <sub>2</sub>	0,5	2957	3468
CO	0,1	591	694
O <sub>2</sub>	0,1	591	694
H <sub>2</sub> S	0,1	591	694
Biogas	100,0	590 709	693 502

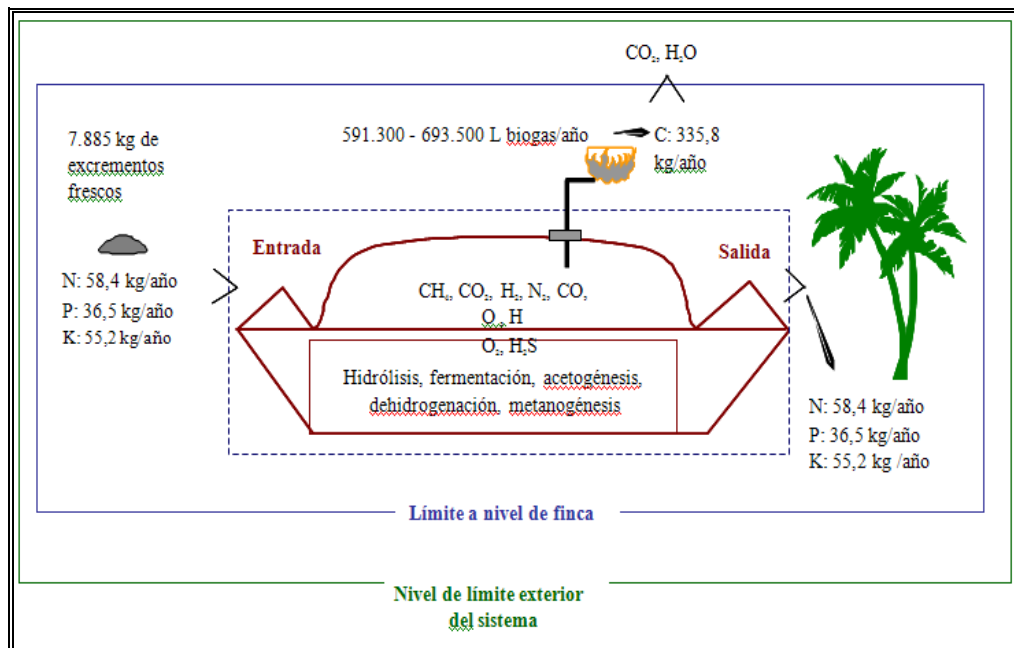
Fuente: Xuan An

Por otra parte el biol es un efluente líquido y por esta razón haremos mención algunos criterios de calidad para las aguas residuales destinadas al riego de cultivos y a la acuicultura, tomando el concepto de microorganismos fecales indicadores y, aunque existen otros grupos, los coliformes siguen siendo los microorganismos indicadores más corrientemente utilizados pese a que no todos son exclusivamente fecales. La norma establecida por la OMS para utilizar aguas residuales tratadas en la agricultura y la acuicultura establece no más de 104 coliformes fecales (media geométrica para 100 ml o para 100g). Estos valores contemplan residuales que han recibido tratamientos secundarios y terciarios después de su salida del biodigestor. Los coliformes fecales en el efluente son por consiguiente muy favorables y permiten confirmar la reducción de la agresividad

microbiana de este tipo de residual y el funcionamiento correcto del sistema. (E. Cruz y V. Martínez, 2004). Sin embargo la reducción en cuanto a nutrientes se mantiene, como se muestra en la figura N° 7, lo cual es favorable para poder valorar el aporte económico que presta a una finca este efluente líquido.

**Figura N° 7**

**Biodigestor de polietileno y los nutrientes del biol expresado en kg/año**



Fuente: Hedlund y Xuan An

## **2.6. COMPONENTES BÁSICOS DEL BIODIGESTOR**

Los componentes básicos para la construcción de un biodigestor constan de las siguientes partes: Fuente de alimentación o provisión de materia orgánica, tanque de carga, bolsa de digestión, tanque de salida, sistema de canalización de biogás.

### **Provisión de materia orgánica**

Para la alimentación del biodigestor es necesario contar una fuente de estiércol de cuales quiera de los animales domésticos que garantice una cantidad de 10 a 20 kilogramos estiércol diariamente. Para mantener el biodigestor funcionando, se le debe introducir una dosis diaria mezclada de: una parte 15 de excretas frescas, por cada cinco a diez partes de agua.

Preparación de la mezcla de estiércol y agua Las proporciones de agua y excretas son de 1:4. O sea, por cada 20 kilogramos de excretas se agregan 80 litros de agua, es muy importante señalar que se debe separar los sólidos que puedan causar problemas al plástico. (AEA, 2006)

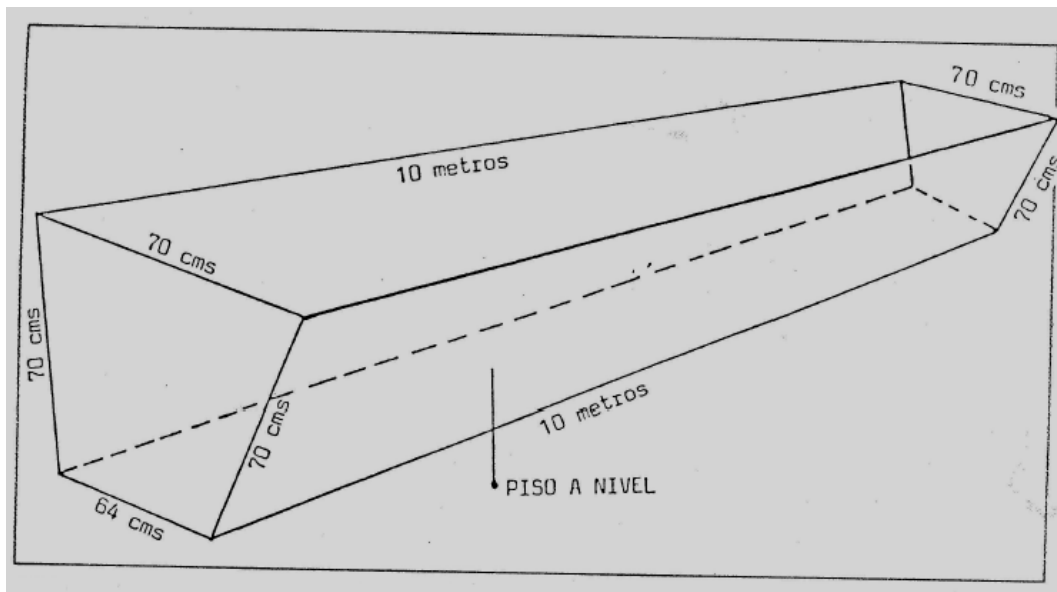
### **Fosa excavada para la bolsa digestora**

Un hueco en la tierra con paredes longitudinales con un talud de 10%, para evitar el derrumbamiento de las paredes y una pendiente mínima del 0.5% a lo largo del piso que permita el flujo diario del liquido por gravedad. La fosa del Biodigestor debe excavarse en suelo firme, de manera que sus paredes no se derrumben y no

queden rocas o piedras cortopunzantes o raíces salientes, pues estas pueden romper la bolsa. (Botero y Preston, 1987)

**Figura N° 8**

**Fosa y medidas de excavación**



**Fuente: Botero y Preston**

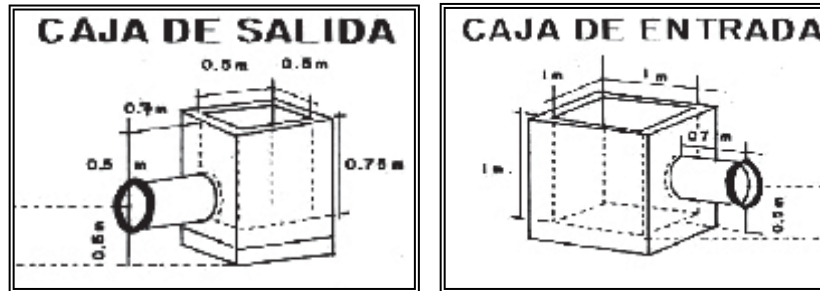
**Tanques de carga de materia orgánica y descarga de efluente líquido**

El biodigestor debe ser alimentado diariamente, lo que garantizará la producción diaria de biogás y bioabono. Lo más práctico es instalar un tubo que conecte directamente el desagüe de los corrales con la caja de entrada del biodigestor.

A la entrada y salida del biodigestor se construyen dos cajas y por la primera entra el material al biodigestor que viene de los corrales sin procesar y por la segunda sale el material procesado que es el efluente o bioabono, (AEA, 2006) como se muestra en la figura N° 9

**Figura N° 9**

**Cajas de entrada y salida de subproductos de la digestión**



Fuente: CIPAV, 1995. Citado por González A, Serie Técnica No 7. UNA 2005

**Bolsa de digestión anaerobia**

Este es un depósito completamente hermético en donde se depositan las excretas de animales, las cuales se fermentan mediante un proceso anaeróbico o sea sin la presencia del aire. Como resultado de este proceso se genera gas metano y un líquido sobrante con excelentes características para utilizarse como un bio fertilizante.

En esta bolsa se realiza el proceso de digestión anaeróbica que es el tratamiento que tiene por objeto descomponer la materia orgánica y/o inorgánica en un digestor hermético, sin oxígeno molecular, prosiguiendo el proceso hasta que se produzca gas metano y dióxido de carbono.

En ausencia de bacterias metanogénicas, con el proceso de digestión sólo se consigue la licuación de los excrementos, lo que con frecuencia los hace más repulsivos. Si en ciertas condiciones la licuación se produce más rápidamente que



la gasificación, la resultante acumulación de ácidos inhibe todavía más las bacterias metanogénicas y el proceso de digestión funciona mal.

Esta bolsa debe estar provista de un mecanismo para la extracción de lodos, sobrenadantes, acumulación y expulsión de gases y eliminación de sólidos, dispositivos de seguridad contra explosión y para la purga del biodigestor.

**Figura N° 10**

**Bolsa de digestión anaerobia**



**Fuente:** CIPAV, 1995. Citado por González A, Serie Técnica No 7. UNA 2005

**Sistema de canalización del biogás**

**Tubos conductores de gas.-** La conducción del gas se lleva desde el biodigestor hasta el sitio donde se colocarán los fogones. La conducción del biogás generalmente se hace con materiales de pvc, sin embargo, en los extremos donde

se colocan los fogones o calentadores se incorpora una llave de bronce a la que se le acoplará un tubo galvanizado para que funcione como fogón.

La conducción para el consumo puede hacerse en manguera de polietileno de 1 1/2 pulgadas de diámetro para biodigestores grandes y de 1 pulgada para biodigestores familiares. Es recomendable usar tubos que posean un recubrimiento interno con poca rugosidad lo que permite el paso más fácil del gas porque existe menos roce. La manguera de conducción de gas hacia el sitio de utilización no debe ser enterrada con el fin de evitar la condensación y humedad interna, además deben evitarse las ondulaciones, pues esto puede permitir la acumulación de agua evitando la salida del biogás. En caso de que se tenga una conducción con longitudes mayores a 100 m es recomendable usar manguera de mayor diámetro y utilizar bolsas de reservorio.

**Válvula de seguridad.-** Con tubería de PVC de 1” (pulgada) se hace una “T”, en un extremo de esta se acopla la manguera que viene del biodigestor y en el otro lado se coloca provisionalmente un tapón. Esta válvula debe ir cerca al biodigestor en la conducción de gas que sale de este, su función es formar un sello de agua que permita la salida del biogás en condiciones normales, pero que a su vez deje escapar el exceso de presión evitando la ruptura del plástico o la bolsa.

Se hace una “T” con tubería de PVC de 1” pulgada, se acoplan los neoplos de PVC de 20 cm a los lados del neoplo de 30 cm hacia abajo. Después se introduce el neoplo de mayor longitud en el envase plástico y 5 a 6 cm por encima del extremo de este tubo se hacen unos agujeros en este recipiente para controlar el nivel del

agua, cuyo nivel debe mantenerse en la mitad, incluso bajo la lluvia. Luego se llena el envase con agua hasta los agujeros y se procede a asegurarse el tubo con la ayuda de un poste, soporte o amarrándolo a la misma manguera de conducción, la cual debe ser de un diámetro que entre en el recipiente plástico con agua (Rodríguez, 2000)

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. TIPOS DE MATERIALES USADOS**

Los materiales utilizados en este trabajo en su mayoría son adquiridos en ferreterías locales, pero algunos materiales que se han podido reemplazar por material del medio pero que cumpla la misma función se lo hizo.

##### **a. Materiales utilizados en la construcción e instalación**

- 16 metros de tubular en polietileno transparente, calibre 8 (milésimas de pulgada) de 1,5 metros de ancho.
- 3 quintales de cemento gris
- 2 tubos de asbesto cemento de 20 cm de diámetro y metro de longitud.
- 2 varillas corrugada de 8 mm
- 7 tubos pvc de 110 mm
- 2 codos pvc de 110 mm
- 1 adaptador macho en PVC de media pulgada de diámetro.
- 1 adaptador macho en PVC de una pulgada de diámetro.
- 1 adaptador hembra en PVC de una pulgada de diámetro.
- 1 tee en PVC de una pulgada de diámetro.
- 2 reducciones no roscadas, en PVC de una a media pulgada de diámetro.
- 3 codos de 90 grados en tubería en PVC de una pulgada de diámetro.

- 1 tapón cementado (liso) en PVC para una pulgada.
- 50 centímetros de tubería gris (de presión) en PVC de media pulgada de diámetro.
- 60 centímetros (o seis nepllos de 10cm c/u) de tubería gris (de presión) en PVC de una pulgada de diámetro.
- 1 frasco de limpiador y un frasco de pegante para PVC.
- 50 centímetros de tubería galvanizada de media pulgada de diámetro, roscada en ambos extremos.
- 1 codo en tubería galvanizada de media pulgada de diámetro.
- 1 nepllo de 10 a 12 cm en tubería galvanizada de media pulgada de diámetro, roscado en ambos extremos.
- 4 abrazaderas metálicas con ajuste desde 1 hasta 1 1/2 pulgadas.
- 1 llave de paso de media pulgada.
- 1 frasco en plástico transparente, sin tapa, de 3 a 4 litros de capacidad (de aceite de cocina desocupado).
- 1 esponjilla metálica de lavar ollas.
- 2 empaques en neumático usado, de 20 x 20 centímetros, en forma de ruana, ambos con un agujero central que permita la entrada ajustada de rosca del macho en PVC de una pulgada.
- 2 tubos de neumático usado, tiras de 5 cm de ancho
- Tablas
- 1 Cocineta adaptada

- Sistema de evacuado de aguas servidas

**b. Materiales utilizados en el muestreo**

- Fundas de drenaje, para envasar la muestra de biogás
- Frasco de muestra de orina, para muestreo de biol.
- Tijeras
- Globos para adaptación de salida de biogas a fundas colectoras
- Cinta de embalaje
- Guantes

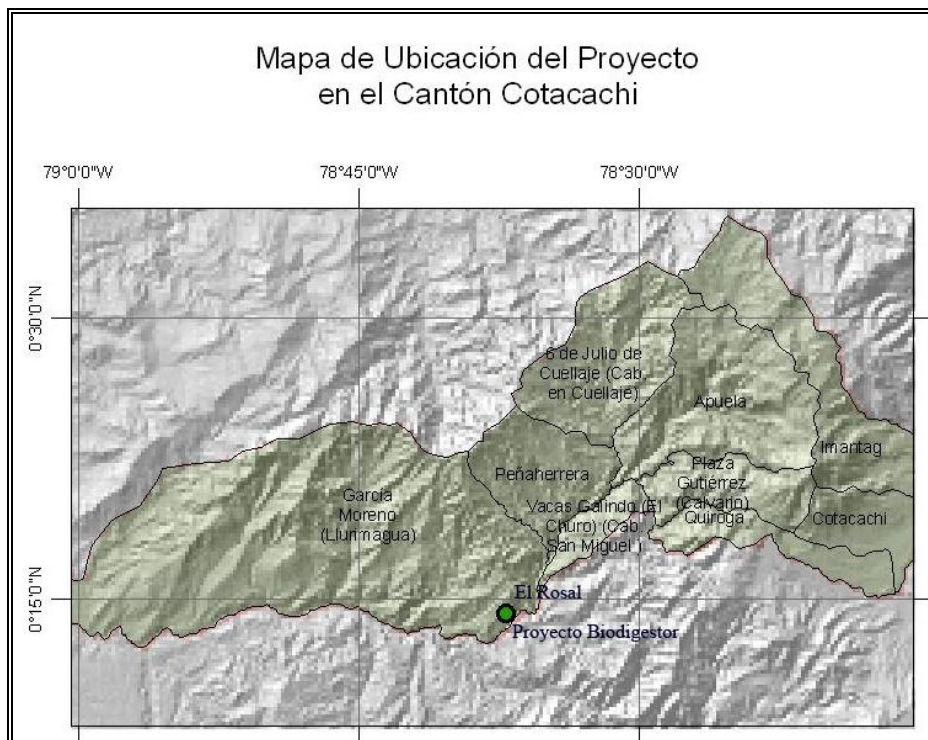
**c. Materiales de oficina**

- Computador
- Software Autocad 2006 y Arcview GIS 3.2
- Papel
- Memory flash
- CDs
- Cartas topográficas
- Cámara fotográfica
- G.P.S.
- Resma de papel
- Tinta de impresora

### 3.2. METODOLOGÍA

#### Ubicación

- Provincia: Imbabura
- Cantón: Cotacachi
- Parroquia: García Moreno
- Comunidad: El Rosal
- Altitud: 1427 m.s.n.m.
- Temperatura Media: 22 ° C
- Latitud: 765094 Norte UTM
- Longitud: 10026126 Oeste UTM



### **3.2.1 Metodología utilizada en el diagnostico socio ambiental del Rosal**

En el diagnostico se realizó con la ayuda de una matriz en la cual se identifica tres líneas o aspectos, social, económico productivo y ambiental de las cuales se subdividen en 20 variables con su respectivo indicador, técnica utilizada especificando a que tipo de publico esta dirigido la misma.

La línea que mas se enfatizó es la ambiental tomando en cuenta que este factor proporcionó datos reales de los diferentes ecosistemas para soportar diversos tipos y niveles de uso, algunas restricciones en cuanto a la aplicación del ensayo y alternativas de implementación y finalmente las posibilidades de desarrollo social como sinónimo de bienestar familiar ó mejoramiento de la calidad de vida.

### **3.2.2. Metodología para el diseño y construcción del sistema de biodigestión.**

En la implementación del biodigestor alternativo se utilizó el software Autocad 2006, con esta herramienta se hizo los planos preliminares, para luego la confirmar y readecuar de acuerdo a las distancias exactas tomadas in situ, lo que ayudó para la adquisición de los materiales en cantidad y calidad. Además se tomó en cuenta algunos parámetros como: distancia del biodigestor en relación con la vivienda, el viento y sus corrientes favorables por situaciones de olores, distancias de la caja de descarga para las excretas humanas, para las excretas de porcinos, etc.

En la construcción de este biodigestor se utilizó la mano de obra local y se formó dos grupos de trabajo, el primero para la excavación en donde va la tubería de traslado de materia orgánica y el segundo grupo para la preparación, mezclado y



traslado del hormigón, dejando preparado para la siguiente jornada instalar la bolsa digestora.

### **3.2.3. Metodología para valorar la eficiencia de los biodigestores**

Para la valoración de esta tecnología se propuso tomar como muestra dos biodigestores que tengan condiciones ambientales parecidas, con la finalidad de que los datos que se obtengan posean un punto de comparación. Para obtener cifras que nos permitan comparar se tomó el efluente gaseosos y líquido producto de la biodigestión, que son el biogás y bioabono respectivamente, del primero se tomó dos elementos de su variada composición, el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); del bioabono se toma tres elementos básicos que son nitrógeno, fósforo y potasio, en función de cuantificar el aporte de nutrientes como abono.

La toma de muestras en los dos biodigestores se propuso hacerlo en los meses de mayor temperatura o meses secos y luego enviarlos a laboratorios para su correspondiente análisis físico químico y posterior procesamiento de resultados en función de porcentajes encontrados en las muestras.

### **3.2.4. Metodología para la socialización de esta tecnología en la zona**

Para la socialización se convocó a una asamblea comunal en la cual con el apoyo de las diapositivas en power point se realizó la explicación de una manera cronológica, empezando por el diseño, la construcción, instalación del sistema de biodigestión, ventajas, desventajas y finalmente se recoge algunos comentarios y sugerencias que realizan dada las expectativas generadas.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1. EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA**

Con la finalidad de realizar la Evaluación Ecológica Rápida, se elaboró previamente una matriz diagnóstica básica (Anexo I) como instrumento complementario que ayuda específicamente a definir y ordenar las variables o factores a considerarse y que sumados contribuirían a estructurar el diagnóstico socio-ambiental en su conjunto. Cabe indicar que si bien en el anteproyecto se definió realizar un diagnóstico socio-ambiental, en la práctica fue pertinente incluir también el aspecto económico-productivo, bajo la consideración de que se trata de una comunidad básicamente dedicada a la producción agrícola, pecuaria y artesanal.

#### **4.1.1. Aspectos sociales**

“El Rosal” es una comunidad pequeña constituida por 17 familias ubicada a aproximadamente unos 5 Km al este de la cabecera parroquial de García Moreno y a unos 2 Km al norte del Río Intag, el río principal que da origen al nombre de todo el valle conocido como Zona de Intag, cuya denominación no corresponde a la división político administrativa formal de nuestro país. Se estima que en total en la comunidad El Rosal viven alrededor de 68 pobladores.

La población de El Rosal, de acuerdo a testimonios locales, está compuesta por familias en un alto porcentaje mestizas consideradas “colonas” que han llegado de otros sitios internos y externos de Intag hace no menos de 60 años. Existe 1 familia indígena y ninguna afroecuatoriana o afrointañona.

Las unidades de vivienda son mayormente tradicionales de bahareque y/o de madera con techo de teja y zinc, aunque últimamente se han construido también de bloque y cemento con techo de ardex y eternit. En total, a nivel de la comunidad se puede hablar de 17 viviendas, determinándose que en algunos casos continúan cohabitando las madres solteras en el círculo familiar del padre.

En cuanto a tenencia de la tierra, la mayoría de familias son propietarias de predios o terrenos con el respectivo título o escritura, aunque también hay personas y familias que son únicamente posesionarios y por tanto no tienen escrituras, mencionando también que unas pocas familias jóvenes no disponen de terrenos. Se estima que cada familia posee en promedio aproximadamente unas 4 has en promedio, sin embargo existen 4 familias con un nivel de tenencias de tierras de más de 20 has.

Debido a varias razones, principalmente por la generalizada crisis del sector agropecuario, por la falta de fuentes de trabajo y en otros casos por estudios, esta es una de las comunidades que ha experimentado un notorio proceso de abandono especialmente por parte de la población joven. Al momento, se da cuenta de que

existen miembros de algunas familias que se encuentran en España y ciudades del Ecuador, especialmente Quito por motivos de trabajo.

En cuanto al nivel educativo y/o de escolaridad se ha determinado que la mayoría cuenta con la primaria completa, lo cual obedece a la existencia de la Escuela “Carlos Alonso Ubidia” que actualmente cuenta con 2 maestras, una de ellas trabaja a medio tiempo ya que imparte música en varias escuelas de la parroquia de García Moreno. Menos del 40% de las/los jóvenes que provienen de dicho establecimiento educativo han tenido la posibilidad de continuar sus estudios en el nivel secundario, anteriormente en el Colegio Técnico Agropecuario “José Peralta” de la vecina parroquia Peñaherrera y últimamente en el Colegio Agroindustrial “García Moreno” situado en la cabecera parroquial de García Moreno. En el nivel superior, la situación es todavía más crítica, pues de acuerdo a los testimonios locales de familiares y amigos, apenas 1 miembro de esta comunidad han accedido a las aulas universitarias.

Por otra parte, es pertinente señalar que debido a la dinámica y al grado de desarrollo que en general toda la Zona de Intag ha experimentado en estos últimos 15 años, tanto por el esfuerzo local como por el impulso y proceso gestado por el Gobierno Local de Cotacachi, las mujeres y hombres adultos y jóvenes de esta comunidad manifiestan haber tenido una participación activa en eventos de capacitación agroproductiva, ambiental y artesanal, lo que les ha permitido tener

un reconocimiento de otras comunidades y parroquias que coexisten en el valle de Intag.

En materia de salud no se registra ninguna situación especial o anormal de gravedad que haya afectado o ponga en riesgo la salud de las/os habitantes, condiciones mejoradas en cierta forma por la apertura de la carretera que presta las facilidades la mayorías de meses del año. Otro servicio básico con que cuenta la comunidad es la energía eléctrica del sistema interconectado nacional. En la intención de conocer si existiera algún nivel de afección por humo doméstico en la salud de las/os comuneras/os niñas/os, jóvenes y adultas/os, no se informa ningún caso específico, lo cual podría obedecer a que la mayoría de familias usan la leña esporádicamente como combustible para preparar y cocinar sus alimentos. Las personas consultadas coinciden en que anteriormente si existían molestias seguramente debido a las afecciones del humo producto del uso de la leña, situación más crítica en los meses de invierno que por cierto refieren que eran más prolongados.

#### **4.1.2. Aspectos económico-productivos**

Como ya se señaló en líneas anteriores, la vocación de la comunidad El Rosal es principalmente agropecuaria y artesanal. En cuanto a la parte agrícola se puede destacar varios cultivos, entre ellos tradicionalmente maíz duro o “morochillo”, fréjol, penca o cabuya y en menor cantidad caña de azúcar y café. Asimismo, y principalmente con fines de autoconsumo, se mantienen cultivos en pequeña

escala tales como plátano, yuca, camote, zanahoria blanca y verduras tradicionales.

Tradicionalmente Intag ha sido también ganadero pero en los últimos años esta actividad ha sufrido varias crisis y, la comunidad El Rosal no ha sido la excepción, aunque alrededor del 50% de las familias tienen al menos una cabeza de ganado vacuno, mientras la mayoría crían y manejan al menos especies menores como gallinas y cuyes en su orden. Asimismo, más del 80% de las familias de la comunidad manejan chanchos para el autoconsumo y 2 familias para la venta.

Es importante destacar que, en esta última década, en el ámbito agroartesanal se ha impulsado la revalorización e incremento del tradicional cultivo de café orgánico y el cultivo y procesamiento de Aloe vera más conocida como “sábila”. En el primer caso, es decir de la producción de café, una tercera parte de las familias locales están en el proceso productivo cuya materia prima es comprada por la Asociación de Caficultores Río Intag - AACRI para su procesamiento y comercialización hacia el mercado nacional e internacional, especialmente a Japón y en menores cantidades a España, Francia y Estados Unidos de Norteamérica.

En el segundo caso, un grupo de mujeres y sus familias de la comunidad, están constituidas en la Asociación Femenina “El Rosal”, misma que se dedica a la

producción y procesamiento de Aloe vera (sábila), transformándola en una variedad de productos tales como shampoo, jabones, cremas y otros de la línea cosmética. Dichos productos considerados alternativos son vendidos en pequeñas cantidades a nivel del norte del país pero también a España y Francia y, al igual que en el caso del café, su venta se hace a través del sistema de comercio justo y solidario. La información disponible en el grupo productivo señala que los 3 productos más vendidos son: el shampoo en unidades de 0,5 y 1 litro en cantidades promedio de 100 lt / año; 1500 unidades de crema de 250 g / año y; 12000 jabones en 3 aromas.

Cabe recordar que para efectos del presente trabajo la relación personal del autor es con la Asociación Femenina “El Rosal” y puntualmente la parte experimental se realizó en la finca de una de las socias integrantes.

Por ser de interés interrelacionado al tema de investigación y aplicación, se hizo un sondeo puntual para conocer la incidencia del uso de gas en la economía de las familias locales, llegándose a determinar que una familia de 6 integrantes consume un promedio de 2 tanques de gas por mes. El costo del gas en el centro parroquial está en 2,50 usd, que sumado al transporte hasta el domicilio asciende a 3,00 usd, es decir que mensualmente gastarían 6,00 usd. El costo por uso esporádico de leña en estas mismas familias no se ha podido cuantificar sin embargo una estimación realizada participativamente sugiere que estaría entre 5,00 y 8,00 usd por mes, tomando en cuenta que para la cocción de granos duros

como el frejol o mote prefieren el uso de leña. Si se suma los costos del gas y los costos de la leña se tendría un monto global de entre 11 y 14 usd por cada mes.

Finalmente cabe referir que en un breve cálculo estimativo, se establece que reconociendo la variabilidad de ingresos entre unas y otras familias, el nivel de ingresos económicos totales provenientes del trabajo campesino diversificado en una familia promedio estaría entre 120 a 180 usd mensuales, es decir que si se analiza porcentualmente la incidencia de los 14 usd como gasto por cocinar los alimentos, éste alcanza a un valor de alrededor del 10 %.

Cabe referir que existe un estudio preliminar, realizado por la Asociación de Campesinos Agroecológicos de Intag ACAI con el apoyo del Programa de Pequeñas Donaciones de las Naciones Unidas PPD para otras comunidades ubicadas en otras parroquias, el mismo que refiere que “los ingresos anuales asciende a \$. 4800/año” (Silva, 2006) lo que mensualmente daría \$. 400 al mes, pero con la venta de porcinos. Aunque este estudio relativamente responde a otra realidad debido a que fue llevado a cabo hace 2 años y con fincas dedicada a la venta de porcinos, sin embargo es un buen referente.

#### **4.1.3. Aspectos ambientales**

Cabe empezar señalando que la vegetación de la zona de Intag es parte de uno de los sitios de mayor importancia biológica a nivel mundial. La revisión de literatura existente permite concluir que los ecosistemas de montaña del



noroccidente del Ecuador forman parte de la denominada Bioregión “El Chocó” que se extiende desde el sur de Panamá, pasando por Colombia e incluyendo el norte del Ecuador hasta una parte de la Provincia de Manabí en la costa ecuatoriana y, en la sierra las provincias de Imbabura, Pichincha, Carchi y Esmeraldas. Sin duda, el grado de importancia se debe a que es considerado entre los sitios calientes del planeta (“hotspots”) con mayor diversidad de plantas, aves, animales y otros seres vivos, algunas especies inclusive endémicas y/o en peligro de extinción como el mono araña(*Ateles fusciceps fusciceps*). (Mariscal, 2007)

Si bien en toda la Zona de Intag resalta notoriamente la topografía irregular de sus suelos, fácilmente se puede considerar que la comunidad El Rosal es una de las que está entre las que muestran mayores pendientes, superando en varios sitios inclusive el 40%. En términos de altitud esta localidad situada en una franja que se podría considerarse como promedio de la zona de Intag, esto es 1427 msnm. Las temperaturas fluctúan entre 15°C y 30°C dando lugar a un clima subcálido húmedo que hace posible el manejo y producción mayormente de especies típicas de la costa mencionadas arriba.

En cuanto a cobertura vegetal, se observa que es una de las comunidades que ha sufrido un notorio proceso de deforestación debido a la explotación maderera y al manejo agrícola y pecuario inadecuado, precisamente por no tomar medidas preventivas y correctivas al trabajar en suelos con fuerte pendiente y también por la práctica actualmente muy cuestionada de la tumba, roza y quema. A simple

vista se puede constatar que quedan muy pocos sitios con bosque natural primario, la mayoría de suelos están dedicados a cultivos y pastizales y, una menor cantidad con vegetación secundaria conocida como “chaparro”. Las principales especies forestales todavía presentes por referencias de los pobladores locales son:

**Tabla N° 4**

**Flora existente en el Rosal**

<i>Nombre vulgar</i>	<i>Nombre científico</i>	<i>Familia</i>
Caimitillo	<i>Gordonia aff. fruticosa</i>	Theaceae
Cedro	<i>Cedrela montana</i>	Meliaceae
Roble	<i>Roupala obovata</i>	Proteaceae
Rosa	<i>Vallea stipularis</i>	Elaeocarpaceae
Guarumo	<i>Cecropia sp.</i>	Cecropiaceae
Canelo	<i>Ocotea heterochroma</i>	Lauraceae
Cascarillo	<i>Cinchona pitayensis</i>	Rubiaceae
flor de mayo	<i>Tibouchina lepidota</i>	Melastomataceae
Hueso	<i>Guettarda tournefortiopsis</i>	Rubiaceae
Motilón	<i>Hyeronima macrocarpa</i>	Euphorbiaceae
Olivo	<i>Podocarpus oleifolius</i>	Podocarpaceae
Pacche	<i>Ocotea arnottiana</i>	Lauraceae
Moco	<i>Sauravia pseudostrigillosa</i>	Actinidaceae
Yaloman	<i>Delastoma integrifolium</i>	Bignoniaceae
Cedrillo amarillo	<i>Brunellia comocladifolia</i>	Brunelliaceae
Incienso	<i>Clusia crenata</i>	Clusiaceae

Guandera	<i>Clusia flaviflora</i>	Clusiaceae
Porotón	<i>Erythrina edulis</i>	Fabaceae
Aguacatillo	<i>Persea mutisii</i>	Lauraceae
Cedrillo	<i>Ruagea hirsuta</i>	Meliaceae
Higuerón	<i>Ficus dulciaria</i>	Moraceae

Fuente: proyecto PRIMENET

En lo relacionado a aves se puede referir la existencia de pequeñas poblaciones de pavas de monte, loras, y esporádicamente en las quebradas aledañas especímenes de gallo de la peña; mientras que a nivel de especies de animales silvestres se reporta la existencia de:

**Tabla N° 5**

**Mamíferos existentes en la comunidad del Rosal**

<i>Nombre vulgar</i>	<i>Nombre científico</i>
Guanta	<i>Agouti taezanowskii</i>
Danta	<i>Tapirus pinchaque</i>
Armadillo	<i>Dasybus novemcinctus</i>
cuyago	

Fuente: proyecto PRIMENET

De las visitas de campo y revisión de literatura sobre la caracterización de la vegetación de la zona de Intag, y puntualmente de la Comunidad el Rosal se puede concluir que el 70% del territorio perteneciente a los moradores está talado.

Debido al empleo de leña para la cocción de alimentos y ocasionalmente para la molienda y procesamiento de la caña de azúcar por parte de quienes todavía lo

hacen, se puede establecer que si bien persiste la extracción de leña, los niveles son bastante bajos pero también ese mismo hecho podría obedecer a la dificultad de encontrar este combustible fósil en sitios relativamente cercanos. En cuanto al uso de leña exclusivamente, gas exclusivamente y/o ambos a la vez, se tienen los siguientes datos: las 17 familias usan principalmente gas y eventualmente leña para la cocción de alimentos duros de cocinarlos; usan gas únicamente en la casa de la Asociación Femenina “El Rosal”. De allí, se puede decir entonces, que bajo el hecho de que un alto número de familias han sustituido totalmente el uso de leña por gas comercial y otras usan eventualmente los dos sistemas, la presión al bosque se percibe poco significativa. Esta es la situación de esta comunidad, no obstante la realidad de otras comunidades parece ser más crítica por la demanda de leña y la mayor distancia para transportar el gas convencional.

Es pertinente señalar que en una de las áreas que mantienen vegetación importante hacia arriba de la comunidad existe una mina de mármol que, una empresa minera, hace unos 5 años ha pretendido explotarla; si bien actualmente la situación es de tranquilidad, la comunidad percibe como un problema que está persistente, pues al parecer en cualquier momento podría esta u otra empresa retomar el proyecto extractivo. En ese mismo ámbito se puede mencionar que a cuatro horas del Rosal se encuentra la comunidad Junín perteneciente a la Parroquia García Moreno, comunidad que tendría un potencial minero inmenso según fuentes del estudio de exploración realizado por la Bishimetals una empresa minera japonesa subsidiaria de la gigante Mitsubishi, la cual por la presión

mayoritaria de la población inteña fue obligada a retirarse de la zona, y hasta la actualidad no ha ingresado otra empresa minera, pese a que anteriormente se encontraban estas áreas concesionadas a la canadiense Ascendant Copper.

En lo relativo al agua como elemento vital, la comunidad se abastece de una vertiente cercana que le ha posibilitado disponer de un sistema de agua entubada con condiciones aceptables de calidad, aunque en cuanto a la cantidad, en los meses de época seca, julio, agosto y septiembre, refieren que generalmente sufre una significativa disminución. El sistema de agua comunitario es administrado por la comunidad, aduciendo que tienen previsto la conformación de la junta administradora de aguas, sin embargo la mínima recaudación apenas le alcanza para realizar cierto tipo de operaciones y mantenimientos básicos. No existe agua de riego y, aún a pesar de la existencia de otras fuentes de agua relativamente cercanas, debido a la topografía accidentada de los terrenos hasta ahora no se ha desarrollado ninguna experiencia de este tipo.

#### **4.2. IMPLANTACIÓN DEL BIODIGESTOR DE POLIETILENO**

En esta etapa se diseñó un modelo (Anexo 2) con la ayuda del software Autocad 2006 en cual se detallan algunos aspectos relacionados a la construcción civil que ha continuación se explica.

#### **4.2.1. Distancia del biodigestor en relación con la casa de vivienda**

Luego de la visita de campo se determina el lugar, el cual está ubicado en la parte sur de la vivienda familiar beneficiada, este lugar esta rodeado de vegetación arbustiva, la pendiente del lugar es del 25%, detalle que nos favorece en caso de cualquier contingencia relacionado con el taponamiento de los tanques receptores, tanques de revisión o en caso extremo la explosión de la bombona o “salchicha” receptora de la materia a descomponerse, esto ultimo cuando se ha terminado la vida útil del plástico utilizado, lo cual de acuerdo a la experiencia en la zona de Intag, él plástico de 8 micras perdura un promedio de 5 años, tomando en cuenta las recomendaciones de cuidado debidas.

La casa esta ubicada en una divisoria de aguas (loma), desde ésta tomamos una medida de 15 metros hasta el biodigestor y la distancia hasta la chanchera a partir de éste último es de 10 metros.

#### **4.2.2. Excavación y construcción de los tanques de revisión**

Tomando en cuenta que el biodigestor se alimentará de dos fuentes, las excretas de porcinos y la de humanos, por ende la excavación tiene dos direcciones partiendo del tanque de alimentación del biodigestor o lo que equivale a decir tubería desde baño familiar y tubería desde la chanchera hasta el biodigestor. (Anexo N° 7, foto 1). Las dimensiones de la excavación responden al factor de fragilidad del suelo, por lo tanto se toma la decisión de realizar las siguientes proporciones:

**Tabla N° 6**  
**Dimensiones de Excavación**

	altura (m)	ancho (m)	longitud (m)
Tanques de revisión	0,8	0,6	0,6
Tanque de alimentación y salida	1,0	1,0	1,0
Tanque para Biodigestor	0,9	1,0	6,0
Canalización para el baño familiar	0,5	0,4	15,0
Canalización para la chanchera	0,5	0,4	10,0

Fuente: El Autor

En la construcción de los tanques se debe tomar en cuenta que los lados interiores queden bien lisos o enlucidos, con la finalidad de no tener inconvenientes con el fluido de excretas, caso contrario es posible un taponamiento, En caso que esto suceda, las tapas de los tanques serán abiertas para su revisión y posterior trabajo de albañilería.

**Tabla N° 7**  
**Materiales para construcción de tanques**

	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Especificaciones</i>
Tabla de encofrado	tablas	15	2,40m x 22cm
Cemento	quintal	5	
Arena	quintal	15	
Ripio	carretilladas	15	
Tubos plásticos	Tubos(pvc)	4	
Tubos de asbesto	tubos	2	100 cm largo x 20 cm Ø

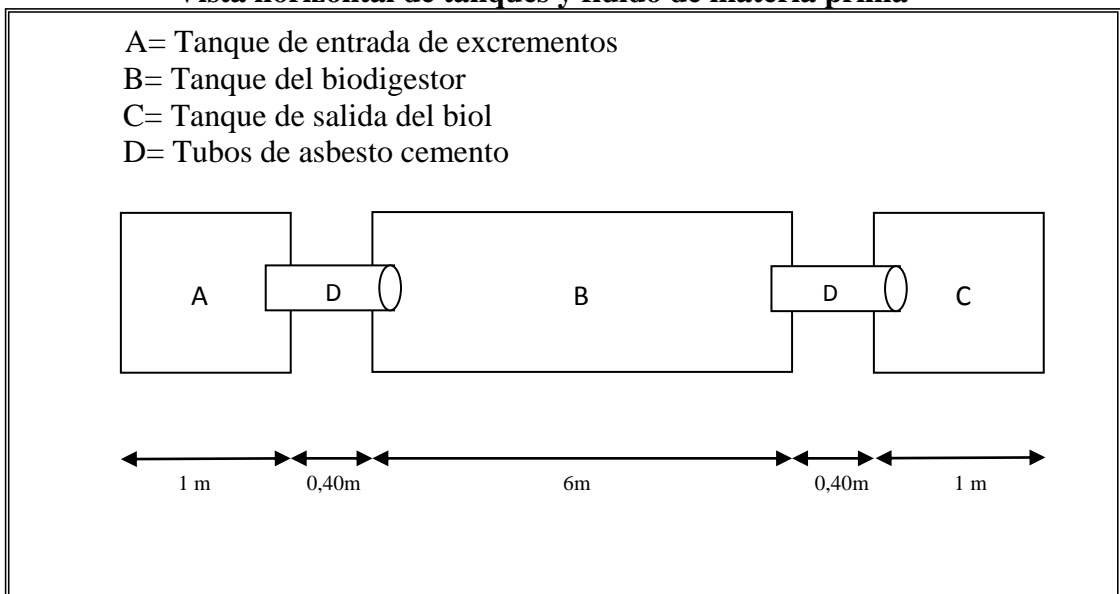
Fuente: El Autor

Para la excavación del tanque destinado a la “salchicha” plástica, cabe anotar algunas especificaciones; en la parte superior de la excavación la dimensión del ancho se la realizó de un metro, mientras que en la base inferior es de 90 cm. y de

forma cóncava, esto con el objetivo que la masa de excrementos que ingresan se los pueda remover fácilmente con la ayuda del cordel que está atravesando el biodigestor.

Se eliminó algunas piedras, rocas, raíces de arboles o arbustos y cualquier material que pueda romper el plástico del tanque principal. En el caso de los *tanques de entrada y salida* se procedió a excavar 1 metro de ancho por 1 metro de largo y 1 metro de profundidad, el tanque de entrada está separado de la fosa grande de 6 metros a una distancia de 40 cm, de igual manera con el tanque de salida por donde sale el residuo líquido efluente de la digestión. (Anexo #7, fotos 4-5). Los tubos de asbesto cemento los colocamos en forma paralela, de manera que exista comunicación entre la fosa grande y los tanques como se muestra en la grafica.

**Figura N° 11**  
**Vista horizontal de tanques y fluido de materia prima**



Elaborado por: El Autor



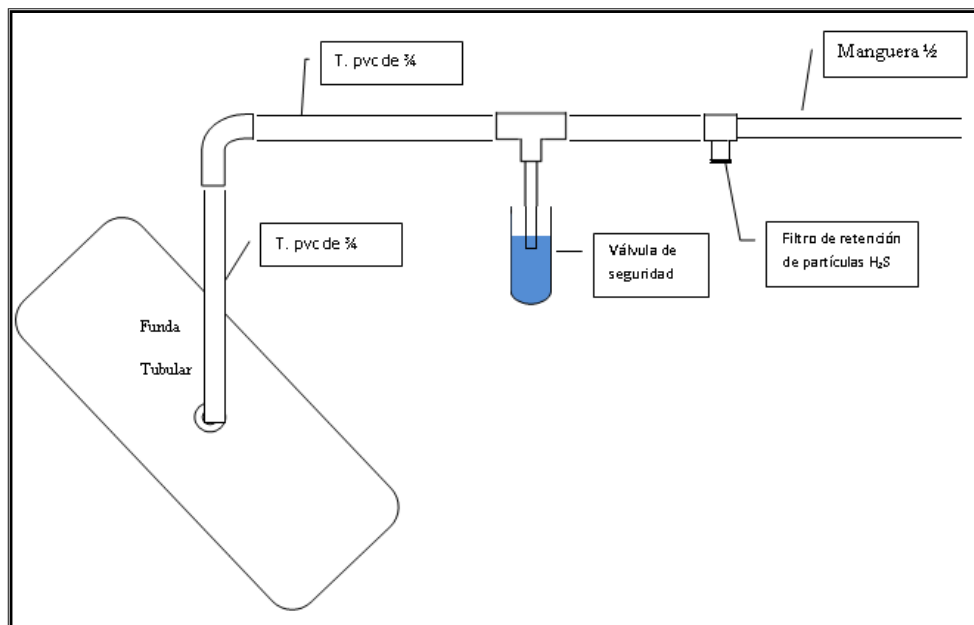
### 4.2.3. Instalación del biodigestor

#### a. Instalación de la tubería para transporte de biogás

Para la conducción del biogás desde el biodigestor hasta la cocina familiar se realizó las conexiones a partir de la funda donde se genera biogás, tomando el tubo pvc de  $\frac{3}{4}$  pulgada para la parte inicial, luego en la parte final adaptarle a la tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada, con la finalidad de elevar la presión de salida del biogás y también para que el acoplamiento o adaptación a la hornilla de la cocina sea de fácil manejo. En la parte intermedia se realizó las conexiones de la válvula de seguridad mediante una “T” pvc para desfogar en caso de que exista sobreproducción de biogás, y otra para la colocación de un filtro de estropajo o esponjilla el cual cumple la función de retener partículas azufradas que contiene este gas (Anexo #7 fotos 13-14-15).

**Figura N° 12**

#### Instalación de tubería



Fuente: El Autor

**b. Armado de la bolsa tubular de polietileno (plástico)**

Para el armado de la bolsa tubular de polietileno se siguió los siguientes pasos:

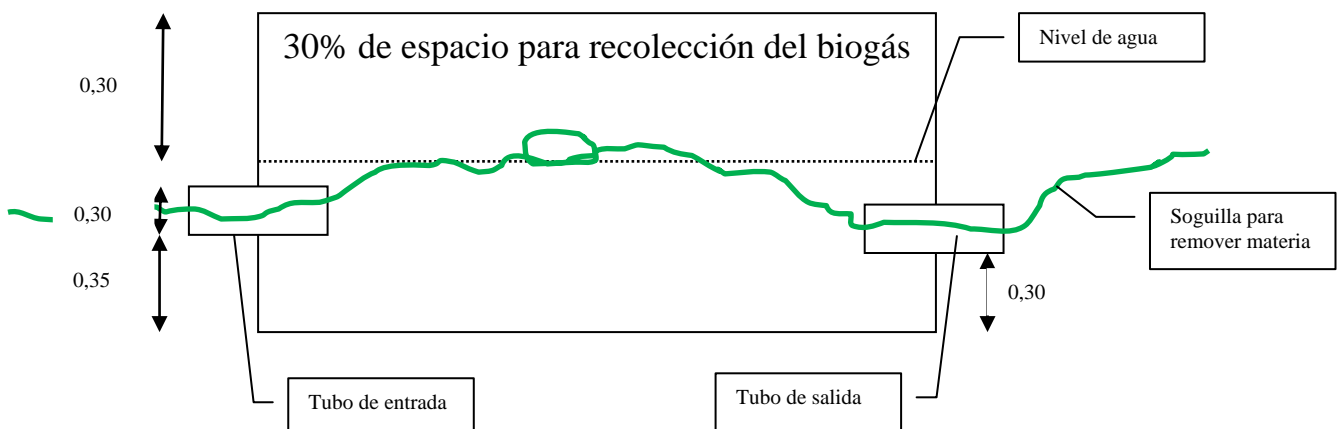
- 1) Se cortó 2 bolsas de 8 metros cada una, luego se introdujo una bolsa dentro de la otra, con el cuidado que los quiebres o señales del doblado coincidan y de esta manera obtenemos una bolsa doble.
- 2) Para realizar el corte de entrada para el adaptador, se tomó en cuenta que se encuentre en la mitad del quiebre superior del plástico (anexo #7, foto 10), en el cual hicimos un corte de diámetro menor al del adaptador, luego se introduce los empaques de boya de llanta tanto en la parte interior como en la superior, finalmente se ajusta firmemente para lograr un cerrado hermético.
- 3) Con el objeto de *remover la materia orgánica* dentro de la bolsa tubular, en caso de taponamiento, introducimos en ella una soguilla de 13 metros, en la cual amarramos en la mitad de la soguilla un pedazo de espumaflex, lo que nos permitió halar de un extremo a otro sin perder el cabo (figura N° 13).
- 4) Para el ingreso de la bolsa tubular a la fosa excavada tomamos los extremos de la bolsa y procedimos a amarrar fuertemente en los extremos de los tubos de cemento de entrada y salida respectivamente, con ligas de neumáticos.
- 5) Antes del *inflado y aprovisionamiento de materia orgánica*, tapamos temporalmente los bordes de los tubos que se encuentra al interior de los

tanques de ingreso y salida, esto ayudó para el inflado de la bolsa tubular (Anexo #7 foto 12) en la cual utilizamos una bomba de fumigar de motor, lo que facilitó la entrada de agua en primera instancia y luego materia orgánica tanto del baño familiar, como de la chanchera después.

- 6) El control de nivel del agua viene determinado por la altura de los tubos de cemento (20cm Ø) a que fueron fundidos. De manera que el tubo del tanque de entrada lo colocamos a 0,35 m. de altura a partir del nivel inferior de la fosa; por su parte el tubo de salida lo colocamos a 0,30 m. Lo que no permite la fuga del aire en primera instancia y biogás posteriormente.

**Figura N° 13**

**Control del nivel de agua**



Fuente: El Autor

### **4.3. ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LOS SUBPRODUCTOS**

Para realizar este ensayo se tomó en cuenta algunos parámetros que nos permitieron analizar mejor y desde una perspectiva crítica. Así por ejemplo los meses secos según el diagrama ombrotérmico (Laporta, 2007), el cual relaciona entre la precipitación y la evapotranspiración, los meses secos para esta zona son julio, agosto y septiembre (Montenegro y Pozo 1993). Esto nos permitió valorar a la temperatura en cifras promediales y por ende realizar el muestreo de todo el ensayo en ésta época.

#### **4.3.1. Frecuencia de muestreo**

La frecuencia de muestreo se determinó en base a la estabilización de la producción de biogás, pero concordante con la época seca y su relativo aumento de temperatura. Asimismo se evidencio la producción de biogás con la materia en experimento como son las excretas humanas, al mes 15 días.

**Tabla N° 8**

#### **Fechas de muestreo de los biodigestores**

<b>Biodigestores</b>	<b>Primer muestreo</b>	<b>Segundo muestreo</b>	<b>Tercer muestreo</b>
Bioensayo N° 1	Julio 11 de 2008	Agosto 11 de 2008	Septiembre 11 de 2008
Biodigestor CR N° 2	Julio 11 de 2008	Agosto 11 de 2008	Septiembre 11 de 2008
Biodigestor SG N° 3	Julio 11 de 2008	Agosto 11 de 2008	Septiembre 11 de 2008

Tomado en cuenta que el número de personas en la familia suma 6 y por otra parte el número de chanchos con el que empieza a funcionar, es dos chanchos. Se pudo deducir a priori que efectivamente si esta bien realizadas las conexiones y por ende el total de la instalación.

Con estas observaciones anotadas anteriormente, se tomó las muestras en los meses de julio, agosto y septiembre (Anexo #7 fotos 21-22).

Con el efluente líquido o bioabono se procedió a tomar las muestras 15 días mas tarde (Anexo #7 23-24), porque el residual de todo este proceso, que en primera instancia responde a una fase de hidrólisis, fase de acidogénesis, fase de acetogénesis, fase metanogénesis y finalmente formación de metano (Infantes, 2006), es decir que todo este proceso retrasa la producción normal de este líquido.

#### **4.3.2 Factores en estudio**

Los factores que se estudiaron en el presente son dos:

- Un biodigestor (Bio 1) con materia prima alternativa, proveniente de los procesos biológicos del hombre (excretas y orines) mezclados con las excretas de los porcinos.
- Un biodigestor (Bio 2) con materia prima resultado de la digestión de los porcinos.

De los cuales se tomó como factores de estudio el producto y el efluente resultante, que en este caso son:

- El Biogás
- El Bioabono

### 4.3.3. Tratamientos

En cuanto a los tratamientos a estos se los ha asignado las siguientes codificaciones BIOD 1 y BIOD 2, las que se les ha estableció en función de su identificación tanto en el campo como en los laboratorios.

En el caso del Bio 2, vale destacar que se ha promediado los resultados de dos biodigestores instalados en la Zona de Intag, que en gran porcentaje las características son similares y que nos sirvieron para el motivo del ensayo o estudio.

**Tabla N° 9**

**M1= Muestra de julio**

<b>BIOD 1</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>	<b>BIOD 2</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>
<b>Componente</b>			<b>Componente</b>		
Aire	44,16	33,67	Aire	37,91	45,25
Metano	45,02	60,07	Metano	49,21	64,21
CO <sub>2</sub>	9,38	4,55	CO <sub>2</sub>	11,01	7,45
Agua	1,44	1,71	Agua	1,87	2,16

Fuente: El Autor

**Tabla N° 10**

**M1= Muestra de agosto**

<b>BIOD 1</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>	<b>BIOD 2</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>
<b>Componente</b>			<b>Componente</b>		
Aire	29,46	21,15	Aire	35,9	29,09
Metano	56,72	71,24	Metano	49,04	63,53
CO <sub>2</sub>	11,84	5,41	CO <sub>2</sub>	10,48	4,93
Agua	1,97	2,2	Agua	2,11	2,48

Fuente: El Autor

**Tabla N° 11**

**M1= Muestra de septiembre**

<b>BIOD 1</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>	<b>BIOD 2</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>
<b>Componente</b>			<b>Componente</b>		
Aire	62,12	49,06	Aire	37,05	55,01
Metano	34,2	47,27	Metano	50,17	65
CO <sub>2</sub>	1,17	0,59	CO <sub>2</sub>	10,54	4,97
Agua	2,51	3,09	Agua	2,23	2,58

Fuente: El Autor

**Tabla N° 12**

**Promedio de los tres meses**

<b>BIOENSAYO</b>			<b>BIODIGESTORES DE COMPARACION</b>		
<b>Componente</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>	<b>Componente</b>	<b>% peso</b>	<b>% moles</b>
Aire	42,76	32,41	Aire	37,78	28,3
Metano	47,42	61,55	Metano	49,47	64,2
CO <sub>2</sub>	7,71	3,58	CO <sub>2</sub>	10,68	5,0
Agua	2,11	2,47	Agua	2,07	2,4

Fuente: El Autor

Como podemos observar en la tabla correspondiente al mes agosto tiene un aumento significativo en cuanto a la producción de metano (CH<sub>4</sub>=71,24 % moles), lo que responde a las temperaturas mas altas registradas en este mes; cabe señalar que en este año 2008 no existió una diferencia marcada entre la temporada seca y temporada húmeda, casi todo el año se constató precipitaciones.

#### **4.3.4. Características del experimento**

##### **a. Uso de excrementos animales**

Para el uso de los excrementos de los animales se lo realizó tomando en cuenta que la mayoría de experiencias a nivel mundial en cuanto a la digestión anaerobia, se han dado con estiércol de animales, con excepción de los países asiáticos como China y la India en donde se ha generalizado en el sector rural el uso de los biodigestores que utilizan excrementos humanos.

En el caso del ensayo se tomó algunas consideraciones para la utilización de materia fecal porcina:

- Porcinos que su alimentación es variada, tomando en cuenta que no es criadero con fines comerciales
- Valor del efluente relacionado con los nutrientes
- Utilización directa del efluente líquido como abono
- Forma y contenido de sólidos en porcentajes del estiércol animal, como se muestra en la tabla de clasificación de acuerdo al contenido de sólidos.

Otras consideraciones secundarias son las siguientes

- Distancia en relación con la casa de vivienda
- Costo de la tubería para el traslado de la materia orgánica
- Afectación a la salud por efectos de olores emitidos de porcinos



**b. Uso de excrementos humanos**

Los excrementos humanos desde hace mucho tiempo atrás se han venido utilizando en otros países como se manifestó en el párrafo anterior, por lo que se estimo en el ensayo experimentar con esta materia la que le denominamos “materia orgánica alternativa”. Para la utilización de estos excrementos de humanos en la digestión anaerobia se propuso realizar una instalación de tubería desde baño de la vivienda familiar hasta el biodigestor, con una excavación segura que lleve estos fluidos sin contratiempos y también que nos permita realizar algunas reparaciones en caso de existir taponamientos, para lo que se propuso construir dos tanques de revisión.

Para la interpretación de resultados se utilizó un promedio de las muestras, tanto del biodigestor del ensayo El Rosal en García Moreno, como de los dos biodigestores instalados en la zona de Intag, comunidades El Paraíso y El Cristal en la parroquia Peñaherrera

También se relacionó las características de los dos sitios, características como temperatura, altitud, con respecto a la producción y su real incidencia.

En el caso del sustrato, que elemento es el predominante en la alimentación de los porcinos, para ver su resultado e influencia en la digestión si es que la existe

*Temperatura y altitud* estos dos factores difieren muy poco entre si, por lo que podemos establecer que siendo este un factor clave en la producción de biogás,

para las dos sistemas cobija un rango medio de estos dos parámetros como lo demuestra a continuación la tabla.

**Tabla N° 13**

**T° y Altura de biodigestores**

Biodigestores	T° media	Altitud
Carlos Ruiz	19 C°	1725 msnm
Salomón Gómez	20 C°	1670 msnm
Bioensayo	22 C°	1417 msnm

Fuente: El Autor

**4.3.5. Variables del experimento**

- El biogás
- Y el bioabono

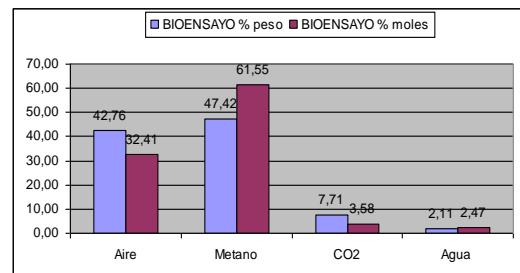
En el biogás los factores que se analizaron son los contenidos de metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

**Tabla N° 14**

**Producción de CH<sub>4</sub> Bioensayo**

Factores	% peso	% moles
Metano, CH <sub>4</sub>	47,42	61,55
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	7,71	3,58

Fuente: El Autor

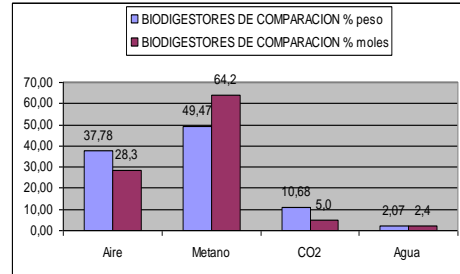


**Tabla N° 15**

**Producción de CH<sub>4</sub> Biod. Comparación**

Factores	% peso	% moles
Metano, CH <sub>4</sub>	49,47	64,23
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	10,68	5,04

Fuente: El Autor



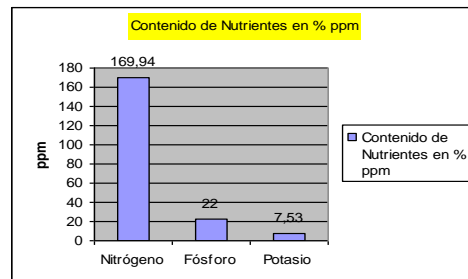
En el bioabono los factores que se analizaron son los siguientes: Nitrógeno, Fosforo y Potasio

**Tabla N° 16**

**Efluente del bioensayo**

Componente	ppm	%
Nitrógeno	169,94	0,0169
Fósforo	22,00	0,0018
Potasio	7,53	0,0008

Fuente: El Autor

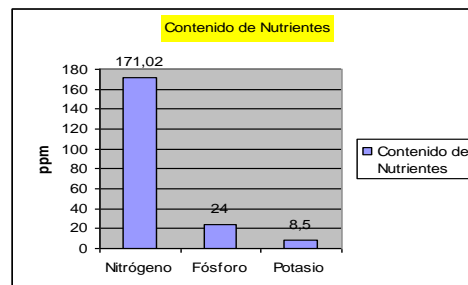


**Tabla N° 17**

**Efluente biodigestores de comparación**

Componente	ppm	%
Nitrógeno	171,02	0,0171
Fósforo	24,00	0,0024
Potasio	8,50	0,0009

Fuente: El Autor



Al efluente líquido del biodigestor del ensayo también se lo realizó un análisis bioquímico en vista que el tanque de carga recibe alimentación del sistema de evacuado de aguas servidas, obteniendo los resultados siguientes:

**Tabla N° 18**

**Análisis bioquímico de la muestra del efluente-BIOENSAYO**

<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>BIOENSAYO</b>
Recuentos de aerobios totales	UFC/100ml	4*10 <sup>6</sup>
Recuentos de coniformes totales	UFC/100ml	2,2*10 <sup>6</sup>
Recuentos de <i>Echerichia Coli</i>	UFC/100ml	1,5*10 <sup>5</sup>
Recuentos de mohos	UPM/100ml	96*10 <sup>5</sup>
Recuento de levaduras	UPL/100ml	5*10 <sup>6</sup>
Entameba histolítica (huevos)	.....	Abundante
Entameba histolítica (formas larvares)	.....	Presencia
Ascaris lumbricoides (huevos)	.....	Abundante

Fuente: Laboratorio de uso multiple Ficaya-UTN

**Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola (TULAS)**

Como se puede observar los parásitos exceden del límite permisible aceptado por la legislación ambiental secundaria ecuatoriana.

**Tabla N° 19**

Tabla 6.- *Criterios de calidad ambiental admisibles para aguas de uso agrícola*

<b>parámetros</b>	<b>expresado como</b>	<b>unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Recuentos de coniformes totales	UFC/100ml		1000
Entameba histolítica (huevos)	.....		cero
Ascaris lumbricoides (huevos)	.....		cero

Fuente: Tabla N° 6 del libro VI, Anexo I (TULAS)

Además se analizaron algunos componentes que de alguna manera generan rechazo en la población, como el  $C_9H_9N$  que es un compuesto orgánico bicíclico llamado *Eskatol* (PROSAP, 1995) y es responsable del mal olor que despiden las excretas humanas; sin embargo en esta ocasión se evidencia mal olor leve en el efluente gaseoso del biodigestor, ya que el proceso de acidificación, se encarga de destruir y transformar en materia disponible para las bacterias metanogénicas. En cuanto al efluente líquido este despiden un olor a lodo podrido, pero se encuentra tapado con planchas de madera mitigando de esta manera la emanación de mal olor.

#### **4.3.6. Manejo específico del experimento**

##### **a) Materiales adaptados para la recolección de las muestra**

Para realizar el muestreo los implementos son:

- Fundas de drenaje o recolectoras
- Globos de adaptación
- Tijeras
- Cinta de embalaje
- Envases para la toma de muestras del bioabono.

En el caso de las tomas de las muestras del biogás, se tomaron en diferentes lapsos de tiempo, tomando como referencia los meses de mayor temperatura, con el objeto de estandarizar en todos los sitios, este parámetro importante

**b) Toma de muestras in situ y llevadas a laboratorio**

Para el muestreo del biogás, se presentó la dificultad de envasar el mismo. Siendo este un biogás con poca presión, nos encontramos con la dificultad de ingresar la muestra al cromatógrafo donde se mide los gases. Sin embargo agotamos las posibilidades, realizando una visita al laboratorio de Petro Industrial en el cantón Shushufindi; donde nos explicaron todo el proceso y lectura de las curvas de gases residuales que miden, llegando a la conclusión que la muestra del biodigestor es propensa a perder calidad dada la distancia existente entre el sitio del ensayo y los laboratorios.

Con estos antecedentes, la decisión fue tomar las muestras de biogás en las fundas de drenaje utilizadas en medicina (Anexo #7 fotos 19-20-22) e inmediatamente llevarlas al laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito.

En cuanto a las muestra del efluente líquido, las muestras se las envió a laboratorios de la provincia.

- Análisis Microbiológico de Aguas – Laboratorio de la Universidad Técnica del Norte. FICAYA
- Análisis Físico Químico Aguas de Riego – Laboratorio de aguas de riego “LABONORT”

#### **4.3.7. Ventajas y dificultades en la aplicación de esta metodología**

##### **Ventajas**

- **Base tecnológica aplicada con anterioridad en la zona**

Una década atrás en la zona de Intag se viene implantando proyectos enfocados a elevar la calidad de vida de sus pobladores, es así que instalan el primer biodigestor por parte de la Asociación de Campesinos Agroecológicos de Intag en el año 2000, lo cual permite obtener conocimientos generales para replicar y generar mas conocimiento técnico, formas de afrontar dificultades e innovar detalles que aportan en la eficiencia y producción de biogás.

- **Nivel socio- organizativo**

La comunidad del Rosal posee un grupo organizado del cual existe el apoyo e impulso para la aplicación del estudio, inclusive existe la propuesta de replicar este trabajo a nivel comunitario de manera que el número de beneficiarios sea mayor

##### **Desventajas**

- Dificultad para el ingreso con los materiales hasta el sitio de ejecución del ensayo.

Dificultad en analizar las muestras de biogás, dada la distancia que existe entre el sitio del estudio y los laboratorios de Petroproducción se decidió realizar las pruebas de laboratorio en la Escuela Politécnica Nacional de Quito esto con la finalidad que las muestras no pierdan calidad y reflejen la realidad del experimento.

#### **4.4 SOCIALIZACIÓN**

##### **Ejecución de los talleres de socialización de la tecnología de biodigestores tubulares de flujo continuo**

Una vez concluida la parte constructiva y transcurrido el tiempo de fermentación necesario en la bolsa del biodigestor, se procedió a invitar a la comunidad local con el fin de dar a conocer los aspectos técnicos, las ventajas/beneficios y las limitantes o dificultades del uso de este tipo de tecnología, además de recoger las observaciones e impresiones de las personas interesadas participantes.

Sin duda, era pertinente socializar esta experiencia de *producción de biogás y bioabono líquido* a través de la implementación de biodigestores tubulares, posibilitando la obtención y el uso de un tipo de gas biológico en las cocinas familiares, generados a partir de la fermentación, en este caso de una combinación de estiércol de chanchos y excretas humanas.

Luego del correspondiente saludo y bienvenida, se inició con la explicación de los objetivos y la metodología a aplicarse.

##### **Objetivos del taller**

- Socializar los aspectos técnicos relacionados a la construcción, funcionamiento, ventajas y limitaciones de este tipo de tecnología alternativa para la producción de biogás y bioabono líquido en fincas campesinas.



- Analizar participativamente los pro y contra de esta tecnología en la perspectiva de replicar y/o multiplicar ampliamente el uso por parte de las familias campesinas de la zona de Intag.

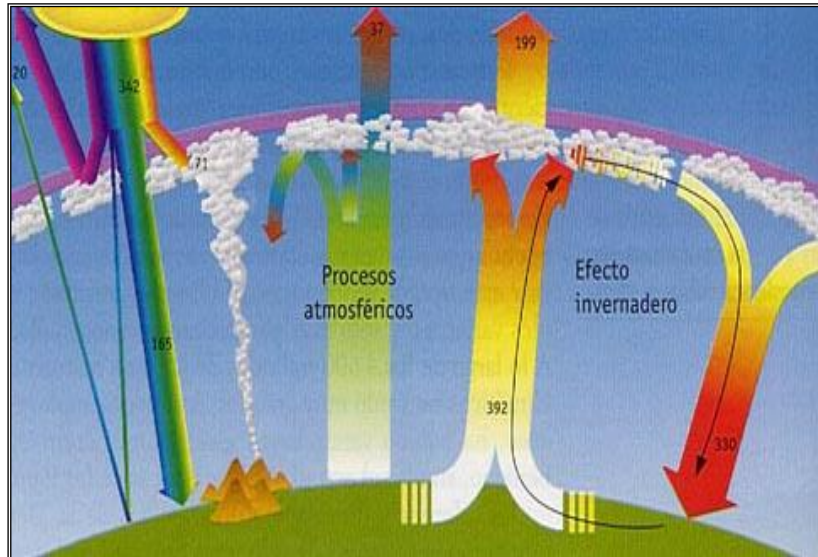
### **Breves antecedentes (teóricos)**

Se consideró pertinente compartir de manera breve, para poder introducirnos en el tema, algunas ideas que varios autores coinciden con respecto a la problemática mundial del uso de energías o renovables provocada por el crecimiento y desarrollo industrial. Es una problemática que cada vez es más necesaria analizarla, debatirla y difundirla puesto que, aunque parezcan problemas extraños o alejados a la cotidianidad campesina si se hace una breve aproximación al impacto del uso de energía no renovable en el cambio climático global, también fácilmente es posible relacionar que los cambios y alteraciones climáticas locales solamente son consecuencias prácticas de los problemas climáticos mundiales.

En ese sentido, fue necesario también abordar brevemente las causas y consecuencias del uso de energías no renovables y combustibles fósiles, en el marco del crecimiento industrial, que como se sabe producen muchos gases que al acumularse en la atmósfera no permiten el retorno o salida de la energía calorífica del sol, llegando a incrementar significativamente la temperatura del planeta, fenómeno conocido con el nombre de *efecto invernadero*.

**Figura N° 14**

**Efecto invernadero**



Fuente: Citado en libro, Ed. Ambiental para jóvenes de Cotacachi

Puntualmente, también se refirió el hecho y la problemática que provocan los estiércoles animales y de excretas humanas al aire libre y/o a su vez el manejo inadecuado o inexistencia de tratamiento alguno inclusive en algunos casos la descarga en lechos o cuerpos de agua llámense manantiales, quebradas, riachuelos o ríos. Si bien, aparentemente es un problema insignificante, pero se analizó la liberación de gases hacia la atmósfera, específicamente el metano, que en la bibliografía consultada se describe como uno de los responsables del aporte de gases causantes del efecto invernadero.

En medio de esta situación amplia y compleja, también se abordó la realidad sobre el uso de leña en ciertas zonas del país y del mundo. En el caso de Intag, como ya

se refirió, en el capítulo del diagnóstico socio-ambiental, el uso de este combustible tradicional ya no es de mayor consideración e incidencia.

### **Biodigestores tubulares de flujo continuo**

Sobre este aspecto central del taller, se comenzó haciendo una breve reseña histórica respecto de los sitios y países en el mundo en donde se originó esta tecnología. Sin duda, era necesario socializar que estas innovaciones tecnológicas no son recientes, en otras latitudes como en la China, India y otros desde hace algunas décadas atrás ya sean implementado, lo que sucede es que en nuestros países su difusión y práctica ha sido muy limitada. De todas maneras, países como Cuba, Costa Rica o Colombia han implementado esta tecnología a pequeña escala por llamarla de algún modo.

Las explicaciones relacionadas a la parte constructiva y de funcionamiento se hicieron brevemente con la ayuda de diapositivas con gráficos que refieren las dimensiones del biodigestores y también con fotografías que muestran el proceso constructivo paso a paso. Asimismo se entregó el tríptico elaborado para este efecto, sobre la base de la experiencia desarrollada personalmente y otros materiales existentes. Pero lo más fundamental y de motivación campesina, sin duda fue la visita al lugar del biodigestor instalado, pues didácticamente fue la mejor manera de explicar en forma práctica todos los detalles de construcción, manejo, mantenimiento y operación de estas sencillas instalaciones que en conjunto posibilitan el proceso de biodigestión.

Las preguntas estuvieron orientadas a buscar respuestas en varios subtemas:

- qué costo tiene un biodigestor de estas características?
- con cuántos chanchos se puede hacer funcionar el biodigestor?; cuántos como mínimo y cuántos en promedio?
- qué tiempo de duración tendría el biodigestor?
- se podría abaratar los costos y cómo?
- es peligroso el manejo de estas instalaciones?

Se analizaron, se construyeron y se dieron respuestas de consenso con las/os participantes a estas y otras inquietudes, pero es pertinente destacar que un aspecto clave en términos de viabilidad, sostenibilidad y mayor posibilidad de réplica tiene relación a la reincidente pregunta de averiguar qué pasaría si se eliminara el subsidio al gas? Evidentemente la sola idea de que eso ocurriera causa gran preocupación, pero a la vez permite concluir que en ese caso, seguramente la gran mayoría haría todo el esfuerzo necesario para implementar esta tecnología, porque lamentablemente cuando afecta mayormente al bolsillo es lo que hace adoptar también nuevas formas o maneras de manejar en general las cosas.

Al momento, al parecer la comunidad tiene el consenso y aspiración de que se necesita una política de ayuda y/o subsidio para replicar o masificar esta iniciativa que la mayoría están de acuerdo que “ha sido muy fácil” o “no ha sido cosa del otro mundo”.

## V. CONCLUSIONES

- La construcción y funcionamiento del biodigestor fue posible, a más del diseño técnico, por la colaboración de los habitantes de la zona y porque existe ya un alto grado de organización comunitaria y de concienciación en la conservación ambiental y el desarrollo de actividades relacionadas con el turismo comunitario y la formación de pequeñas empresas que fomentan el uso de la biodiversidad de la zona.
- El propietario del terreno donde se construyó el biodigestor participó en su diseño y construcción y como resultado se obtuvo una tecnología sencilla de construcción y funcionamiento, misma que puede ser replicada con facilidad por otras familias de la zona.
- La producción de biogás con materia orgánica de dos fuentes que son excretas porcinas y excretas de humanos, generó metano de buena calidad como lo demuestra la tabla N° 12, en donde el metano producto de la sumatoria de materia orgánica de 2 porcinos y cinco miembros de una familia, tuvo una producción aceptable frente a los biodigestores de comprobación:

Bioensayo (CH<sub>4</sub>)=61,55 % (moles)

Biodigestores de comprobación (CH<sub>4</sub>)=64,23% (moles).

- En el efluente líquido se encontró que tiene altos niveles de *Coniformes Fecales, Escherichia Coli* ( $1,5 \cdot 10^5$ ) que es abundante si tomamos en cuenta que el Texto Unificado de Legislación Ambiental

Secundaria vigente en el Ecuador determina como rango permisible  $10^3$  para los *C. totales*, de igual forma el análisis de las muestras del efluente líquido se encontró abundante presencia de *Entameba Histolitica* para lo cual esta misma legislación ambiental determina que no debe existir huevos de parásitos, en consecuencia el efluente no sirve para utilizar en la agricultura de hacerlo implicaría graves daños a la salud de los seres humanos al abonar los cultivos de consumo humano.

- ✓ El efluente líquido emitido por los biodigestores muestra cifras altas de *Escherichia coli*,  $1.5 \times 10^5$  (bioensayo) y  $1.3 \times 10^3$  (cerdos) respectivamente, preocupante y satisfactorio ya que las aguas servidas enviadas sin tratamiento a los ríos o quebradas sus cifras oscilan entre  $1.3 \times 10^7$  y  $3.3 \times 10^6$  para las heces de hombre y cerdo respectivamente, lo que quiere decir que el sistema biodigestor descontaminó en un 98,85% para el caso de las heces del hombre y para las heces de cerdos en 99,96%.
- ✓ Este trabajo investigativo reportó rendimientos admisibles, beneficios ambientales y económicos mínimos, que son reconocidos por la familia beneficiada, incidiendo positivamente en el resto de la comunidad. De igual forma repercutió de manera positiva luego de la socialización, tomando en consideración que en este bioensayo se utilizó excretas humanas lo que inconcientemente genera el rechazo hacia esta tecnología.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ✓ Dado el buen nivel socio organizativo mostrado por la comunidad, se recomienda motivar, promover y replicar esta tecnología en comunidades aledañas y parroquias cercanas, mediante visitas de campo al sitio de investigación. De igual forma se deberá impulsar programas y proyectos agropecuarios para que estos sistemas de biodigestión sean autosuficientes, en ese mismo sentido se deberá acoger las modificaciones o adaptaciones con la finalidad de encontrar la eficiencia del sistema de biodigestión mixto.
  
- ✓ Se recomienda realizar el diseño, construcción e implantación de forma comunitaria y participativa, tomando en cuenta los criterios y sugerencias, ya que esto dependerá el éxito o fracaso del proyecto.
  
- ✓ Determinado que las heces de porcinos genera mayor porcentaje de metano (64,23 > 61,55), se recomienda la introducción de 2 o mas cerdos para equilibrar la alimentación hacia el biodigestor de materia prima, consecuentemente mayor cantidad de metano y mejorar la provisión de energía alternativa hacia la familia.
  
- ✓ Una vez comprobado que el efluente líquido contiene altos porcentajes de patógenos,  $1,5 \cdot 10^5$  de *Escherichia coli*, *Entameba Histolitica*,

presencia abundante, se recomienda reducir hasta los índices permisibles recomendado por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, que determina en 1000 UFC por cada 100 ml de agua de riego, antes de la utilización como abono orgánico.

- ✓ Comprobado que este sistema implementado descontamina en gran porcentaje (98,85%), sin embargo el efluente líquido no alcanza los límites permisibles ( $10^4$ ) por la OMS, se recomienda utilizar como abono en plantas forestales lo que permitirá mitigar los efectos directos y de contacto humano.
  
- ✓ Socializada esta tecnología y observando que existe apertura, es necesario ampliar y profundizar cada uno de los procesos y resultados críticos, en la comunidad interesada, para evitar enfermedades por contaminación y otras consecuencias.



## **VII. RESUMEN**

Intag es una zona que alcanza aproximadamente 1680 Km<sup>2</sup>, la cual esta distribuida en dos cantones como son Cotacachi y Otavalo; Plaza Gutiérrez, Apuela, Peñaherrera, Vacas Galindo, García Moreno y Cuellaje son parroquias que pertenecen al primero, la parroquia restante que es Selva Alegre a este ultimo.

Intag es una zona privilegiada tomando en cuenta que se extiende hasta esta parte de territorio ecuatoriano la región del Chocó colombiano uno de los más biodiversos del mundo. La zona de Intag en la última década se distingue por la implementación de algunas alternativas tanto productivas como de investigación, dentro de esta última se enmarca el ensayo de aplicación de materia prima alternativa como son las heces humanas mezcladas con las de los porcinos en un biodigestor; dada la incidencia contaminante de los pequeños poblados hacia los riachuelos producto del vertido de las aguas servidas sin tratamiento, por otra parte este trabajo contribuyó en la búsqueda de soluciones prácticas para la sustitución del uso de combustibles y/o energías no renovables.

Para mitigar estos efectos primeramente se elabora un diagnostico ambiental o Evaluación Ecológica Rápida, de la cual se desprende que tienen una gran diversidad biológica pero al mismo tiempo un buen nivel socio organizativo, en ese mismo sentido se puede apreciar que el consumo de gas doméstico asciende a 2 tanques por mes, con un costo de \$ 2,5 y que para el traslado hacia el lugar de consumo es distante, con gran dificultad de acceso sobre todo en invierno.

Conjuntamente con la Asociación El Rosal se determinó la familia en donde se estableció este trabajo de investigación y se diseñó los planos de instalación del biodigestor, dentro del que constan 3 partes fundamentales; el sistema de evacuado de materia orgánica y alimentación del biodigestor, el sistema de biodigestión y el sistema de provisión de gas alternativo o gas natural.

Una vez realizadas las pruebas comparativas necesarias se determinó que el biodigestor con alimentación de materia prima alternativa (heces humanas) tiene una producción promedio acumulada de los tres meses con mayor T° es de 61,55 % moles en metano, contra el promedio de sumatoria de los dos biodigestores es 64,23 % moles de metano, realmente la producción que se encontró está dentro de los parámetros normales.

Por el contrario el efluente líquido emitido por los biodigestores se muestra con cifras altas de *Escherichia coli*,  $1.5 \times 10^5$  (bioensayo) y  $1.3 \times 10^3$  (cerdos) respectivamente, preocupante y satisfactorio al mismo tiempo si tomamos en cuenta que emitir las aguas servidas sin tratamiento a los ríos o quebradas sus cifras oscilan entre  $1.3 \times 10^7$  y  $3.3 \times 10^6$  para las heces de hombre y cerdo respectivamente, lo que equivale a decir que se descontaminó en un 98,85% para el caso de las heces del hombre y para las heces de cerdos en 99,96%.

Finalmente la provisión de gas metano para uso doméstico permitió reducir el gasto monetario de \$ 5 dólares/mes por efecto de consumo de gas, a un tanque y medio por mes lo que equivale a un costo de \$ 3,75.

## **VIII. SUMMARY**

Intag is a zone that approximately reaches the 1680 Km<sup>2</sup>, which is distributed in two cantons as Cotacachi and Otavalo; Plaza Gutiérrez, Apuela, Peñaherrera, Vacas Galindo, García Moreno and Cuellaje these are parishes that belong to the first one, the remaining parish that is a Selva Alegre to the last one.

Intag is a privileged zone considering that extends up to this part of the Ecuadorian territory the region of the Colombian Chocó, one of the most biodiverse ecosystems of the world. The zone of Intag in the last decade differs in the implementation of some alternatives so much productive as of investigation, inside this last one is framed the essay of the application of alternative raw material like they are the human dregs mixed with those of the pigs in a biodigestor; considering the incidence pollutant of the small towns towards the small rivers product of the non-proper treatment of the sewage, on the other hand this work contributed in the search of practical solutions for the replacement of the use of fuels and/or not renewable energies.

To mitigate these effects first of all there is prepared an environmental diagnosis or Ecological Rapid Evaluation (Evaluación Ecológica Rápida), were we clearly find that they have a big biological diversity but at the same time a good organizational level, in the same sense it is possible to appreciate that the consumption of domestic gas amounts to 2 tanks per month, with a cost of \$ 2,5 and that for the transfer towards the place of consumption is distant, with big difficulty of access especially in winter.

Jointly with the Association “El Rosal” we decided the family where this work of investigation was established and there were designed the planes of installation of the biodigestor, which 3 fundamental parts; the evacuee's system of organic matter and feeding of the biodigestor, the system of biodigestion and the system of provision of alternative gas or natural gas.

As soon as the comparative necessary tests were realized one determined that the biodigestor with feeding of alternative raw material (human dregs) has a production average accumulated of three months with major T° is of 61,55 % masses in methane, against the average of two biodigestores is a 64,23 % masses of methane, showing that the production is inside the normal parameters.

On the contrary the effluent liquid expressed by the biodigestors appears with big numbers of *Escherichia coli*,  $1.5 \times 10^5$  (bioessay) and  $1.3 \times 10^3$  (pigs) respectively, worrying and satisfactorily at the same time if we consider that to throw away the sewages without treatment to the rivers or cliffs the numbers range between  $1.3 \times 10^7$  and  $3.3 \times 10^6$  for the dregs of man and pig respectively, which is equivalent to say that it was decontaminated in 98,85 % for the case of the dregs of the man and for the dregs of pigs in 99,96 %.

Finally the gas provision methane for domestic use allowed to reduce the monetary expense of \$ 5 dollars / month for gas consumption, to one tank and a half per month what 3,75 is equivalent to a cost of \$3,75.

## **IX. BIBLIOGRAFIA**

- ❏ **ACAI**, Producción de biogás en fincas campesinas del valle de Intag
- ❏ **ALIANZA EN ENERGIA Y AMBIENTE CON CENTROAMERICA, 2006**. Manual de uso y mantenimiento de una unidad biodogestora
- ❏ **ARCOS PULIDO MIREYA DEL PILAR, ÁVILA DE NAVIA SARA LILIA, MSC., ESTUPIÑÁN TORRES SANDRA MÓNICA MSC., GÓMEZ PRIETO AURA CRISTINA, 2005**. Indicadores Microbiológicos de Contaminación de las Fuentes de Agua. División de investigaciones de la Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca - Colombia.
- ❏ **BOTERO RAND PRESTON, T R. 1987**. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manuscrito ineditado: CIPAV, Cali, Colombia
- ❏ **CHARÁ O. JULIÁN DAVID, 2002**. El Potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de Descontaminación Productiva.
- ❏ **CVC y GTZ. 1987**, pág. 139. Difusión de la tecnología del Biogás en Colombia.
- ❏ **DIARIO DEL NORTE, ABRIL 29 DE 2002**. Transferencia de Tecnología, Biogás, pag.19
- ❏ **DOHNE, E. 1998**. Biogas for motors and engines. Biogas Forum II.
- ❏ **DOMINGUEZ P. LUIS, 2006**. Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas. Punta Brava- Cuba.
- ❏ **CRUZ Y V. MARTÍNEZ, 2004**. Evaluación microbiológica de un biodigestor anaerobio de cúpula fija para el tratamiento del residual porcino. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) Ave. 25 y 158, Cubanacán. Playa, C. Habana.Cuba. Apartado Postal 6990
- ❏ **CLOSE EDGAR ALEJANDRO, JULIO J. DAVID, JUAN JORGE JUAREZ, 2007**. Curso de de Ciencias Ambientales, Universidad del Valle de Guatemala.

- ❏ **FADHA.** Informe de Biodigestor estación EFA. Fundación Argentina para el Desarrollo Humano Ambiental.
- ❏ **GIAMPAOLI ORLANDO A. GROPELLI, EDUARDO S, 2001.** Ambiente y tecnología socialmente apropiada: el camino de la biodigestión.
- ❏ **GUNNERSON, C.G. Y STUCKEY, D.C. 1986.** Anaerobic digestion. Principles and practices for biogas systems. The World Bank Technical Paper No. 49. Washington D.C.
- ❏ **INFANTES CHÁVEZ, PABLO 2006.** Diseño de biodigestores.
- ❏ **INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA DEL ECUADOR,** Guía para la construcción de un Biodigestor.
- ❏ **JIMÉNEZ HERRERO LUIS, 1996.** Desarrollo sostenible y economía ecológica. Madrid: Editorial Síntesis, S.A.
- ❏ **KENNY-JORDAN CHARLES, HERS CARLOS, AÑAZCO MARIO, ANDRADE MIGUEL,** Construyendo Cambios, Desarrollo Forestal Comunitario en los Andes, primera edición, 1999.
- ❏ **LAPORTA DENNIS, 2007.** Instalación de pequeñas Centrales Hidroeléctricas de Bajo Impacto Ambiental, en la zona de Intag. 2<sup>da</sup> Hoja de calculo Excel.
- ❏ **LÓPEZ C., NOVOA M. DEL C. 1991.** Microbiología de la digestión anaerobia de aguas residuales. Parte II. Poblaciones microbianas en digestores anaerobios.
- ❏ **MANCINI SCHELEDER EUGENIO MIGUEL.** Programa de Desarrollo Energético de Estados y Municipios de Brasil.
- ❏ **MARISCAL ANA, 2007.** Proyecto PRIMENET, Reserva Los Cedros Intag, Cotacachi – Imbabura.
- ❏ **MEJÍA SÁNCHEZ ALAIN, 2001.** 1. Avances en la gestión de residuos sólidos OPS/OMS.
- ❏ **MEYERS EVA, PAZ HURTADO CHRISTIAN, 2007.** Educación Ambiental para jóvenes del cantón Cotacachi. Asamblea de Unidad Cantonal de Cotacachi.

- ❏ **ORESTES HERMIDA GARCÍA, M SC. LISBET LÓPEZ GONZÁLEZ, 2005.** Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios. Centro Universitario Sancti Spiritus. Cuba.
  
- ❏ **PEDRAZA GLORIA, CHARÁ JULIÁN, CONDE NATALIA, GIRALDO SANDRA Y GIRALDO LINA, 2002.** Evaluación de los biodigestores en geomembrana (pvc) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. Cali, Colombia. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/1/Pedr141.htm>
  
- ❏ **PEDRAZA. G. CHARÁ J, X AND CONDE NATALIA, 1999.** Evaluación de biodigestores tipo membrana (CIPAV) Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Cali, Colombia.
  
- ❏ **PELCZAR, REID, CHAN, 1995.** Microbiología, 2<sup>da</sup> edición en español,
  
- ❏ **POHLAND, F.G. Y SUIDON, T. 1978.** Prediction of pH stability in biological treatment systems. In: Chemistry of Wastewater Technology (A.J. Rubin, edition Spanish). Ann Arbor Science Limited.
  
- ❏ **POLIGRAFÍADO, Quinto Año de RNR. FICAYA. Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.**
  
- ❏ **PROGRAMA DE RIEGO Y DRENAJE – MENDOZA, ARGENTINA (PROSAP) 1995.** Constituyentes de Aguas Residuales y su Incidencia Ambiental.
  
- ❏ **RIVADENEIRA JOSÉ, ROBALINO LUIS 2004.** Intag Vivir en los Andes Occidentales de Cotacachi.
  
- ❏ **ROBERTO MONTANARO, 2006.** Producción de Biogás – 1. Plantas Centralizadas y Simplificadas (pag. web) [http://www.engormix.com/produccion\\_biogas\\_%E2%80%93\\_plantas\\_s\\_articulos\\_1004\\_POR.htm](http://www.engormix.com/produccion_biogas_%E2%80%93_plantas_s_articulos_1004_POR.htm)
  
- ❏ **RODRIGUEZ LYLIAN AND T R PRESTON, 2000.** University of Tropical Agriculture Foundation Finca Ecologica, University of Agriculture and Forestry
  
- ❏ **SASSE L. 1989.** Evaluation of Ecological Benefits. Biogás Forum, versión en español.

- ❏ **SILVA ROSERO MARCELO PATRICIO, 2007.** Análisis de costo beneficio del uso de biodigestores en fincas integrales campesinas en la zona subtropical media de Intag, Cotacachi, Ecuador.
- ❏ **SILVA VINASCO JUAN PABLO, 2001.** Tecnología del Biogás, Universidad del Valle, Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente – Colombia.
- ❏ **SORIA FREGOSO MANUEL DE JESUS et.al. 2001.** Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo.
- ❏ **SOSA ROBERTO, 2002.** Tratamiento y uso de recursos producidos con excretas porcinas. Instituto de Investigaciones Porcinas. Habana- Cuba.
- ❏ **SOTO, R. & V. JIMÉNEZ, 1992.** Evaluación Ecológica Rápida, Península de Osa, Costa Rica. Programa BOSCOA. Fundación Neotrópica.
- ❏ **TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION AMBIENTAL SECUNDARIA ECUATORIANA, 2003.** Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla N° 6
- ❏ **TURZO, E., J. GUTIERREZ, A. MORE, M. ORTEGA Y A. SANZ. 1984.** Estudio del tiempo de retención (T.R.) y de sinergia de deyecciones de ganado, en el proceso de fermentación anaerobia. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, España.
- ❏ **VEGA N. I, 2000.** Evaluación de diferentes efluentes de cerdo como bioabono sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos maíz (zea mays L.) y sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) y las propiedades químicas de los suelos.
- ❏ **VERÁSTEGUI, L. J. 1980.** El Biogás como Alternativa Energética para Zonas Rurales. OLADE.
- ❏ **WERNER U, STÖHR U, HEES N, 1989.** Biogas plants in animal husbandry. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania.



## **PAGINAS WEB**

1. [http://ecogel.org/digestion\\_anaerobia.htm](http://ecogel.org/digestion_anaerobia.htm)
2. [http://www.dgewittenberg.com/espaniol/vortraege/biogasanalgen\\_fuer\\_abfallstoffe.pdf](http://www.dgewittenberg.com/espaniol/vortraege/biogasanalgen_fuer_abfallstoffe.pdf)
3. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/Recycle/biodig/manual.htm#Deciding%20the%20location%20of%20the%20biodigester%20and%20excavating%20the%20soil%20to%20make%20the%20trench>.

## **CAPITULO X**

### **ANEXOS**

**Anexo N° 1.** Matriz de Evaluación Ecológica Rápida

**Anexo N° 2** Diseño de plano de instalación del biodigestor

**Anexo N° 3.-** Análisis de cromatografía de gases – Laboratorio de Análisis Instrumental, Escuela Politécnica Nacional – Departamento de Química Aplicada.

**Anexo N° 4.-** Análisis bioquímica del efluente líquido – Laboratorio de Uso Múltiple, FICAYA – UTN.

**Anexo N° 5.-** Análisis de agua de riego. Laboratorios del Norte, Ibarra – Imbabura.

**Anexo N° 6.-** Formato de encuesta “Expectativas de usos del biogás”

**Anexo N° 7.-** Fotografías del proceso de instalación

**Anexo N° 8.-** Mapa del sitio de implementación del proyecto

**Anexo N° 9.-** Costo total del proyecto

**Anexo N° 10.-**Costo mínimo de instalación del biodigestor.