



## RESUMEN

Durante muchos años el manejo de los residuos sólidos y su disposición final en el planeta no ha sido el mejor, provocando una crisis de contaminación ambiental que toco fondo y por consiguiente prendió alarmas para que las organizaciones en el mundo adoptaran medidas e instauraran políticas en pro de proteger y conservar el medio ambiente sano, a través de la práctica del desarrollo sostenible que garantice un buen uso y aprovechamiento de los recursos naturales y la salud humana.

Frente al tema el municipio de puerto tejada cauca no es la excepción, ya que carece de un manejo integral de los residuos sólidos y sumado a esto sus habitantes desconocen el potencial energético que estos y la forma como mediante su aprovechamiento pueden generarse beneficios que inciden directamente en el mejoramiento de su calidad de vida y la disminución de gases efecto invernadero.

Teniendo en cuenta estos antecedentes y las políticas adoptadas por las organizaciones mundiales, en el presente trabajo se recopila información de tecnologías sencillas de aplicar y por tal motivo se propone construir e implementar un biodigestor artesanal casero con materiales de bajo costo y fácil adquisición en la región, capaz de producir biogás a partir de residuos orgánicos como frutas, verduras, estiércol de animales y posteriormente convertirlo en energía calórica y biofertilizante en condiciones anaerobias. Este tipo de biodigestor contribuye a la sustentabilidad, es por ello que mediante la adopción de mecanismos como estos se puede dar solución a la mala disposición final de residuos orgánicos y a provecharlos de manera que generen productos de

beneficio común y a su vez un aporte significativo de reducción de contaminación ambiental por los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global.

El concepto de sustentabilidad ha cobrado mayor importancia a nivel mundial y Colombia no es la excepción

**Palabras claves:**

Biodigestor, biogás, residuos orgánicos, energía calórica, sustentabilidad, fertilizante, disposición final, aprovechamiento, gases de efecto invernadero, contaminación ambiental.

## **ABSTRACT**

For many years the management of solid waste and its final disposition on the planet has not been the best, causing a crisis of environmental pollution that bottomed and therefore set alarms for the organizations in the world to adopt measures and establish policies for To protect and conserve the healthy environment, through the practice of sustainable development that guarantees a good use and use of natural resources and human health.

Faced with the theme, the municipality of Puerto Tejada Cauca is not the exception, since it lacks an integral management of solid waste and added to this, its inhabitants are unaware of the energy potential that these and the way in which they can be generated benefits that directly affect In the improvement of their quality of life and the reduction of greenhouse gases.

Taking into account these antecedents and the policies adopted by the world organizations, the present work compiles information of simple technologies to apply and for this reason it proposes to construct and implement a homemade biodigester with materials of low cost and easy acquisition in the region , Capable of producing biogas from organic residues such as fruits, vegetables, animal manure and later convert it into caloric energy and biofertilizer under anaerobic conditions. This type of biodigester contributes to sustainability, which is why, through the adoption of mechanisms such as these, a solution can be given to the final poor disposal of organic waste and to provide them in a way that generates

products of common benefit and in turn a significant reduction Of environmental pollution caused by greenhouse gases that cause global warming.

The concept of sustainability has become more important globally and Colombia is no exception

**Keywords:**

Biodigestor, biogas, organic waste, caloric energy, sustainability, fertilizer, final disposal, utilization, greenhouse gases, environmental pollution.

**CAPITULO I**  
**PROBLEMA DE LA INVESTIGACION**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En nuestro sector es muy común observar pequeños y grandes volúmenes de desechos orgánicos e inorgánicos en diferentes sitios, lo que evidencia que las personas descartan grandes cantidades de materiales que podrían ser aprovechados, reutilizados o transformados en diferentes productos.

Muchos de estos materiales son orgánicos y podrían ser aprovechados mediante su transformación en diferentes productos entre los que se destaca la obtención de energía alternativa, ya que estos residuos orgánicos poseen propiedades de degradabilidad que mediante microorganismos biodigestores y en ausencia de oxígeno son transformados en gas metano, el cual se puede captar y es una fuente de energía calórica que sería de mucha utilidad para que las comunidades lo aprovechen en las diferentes actividades del hogar donde se necesite la energía calórica.

Mediante el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, su transformación y aprovechamiento las familias obtendrían beneficios como lo es el ahorro en el

consumo de energía eléctrica, la obtención del biogás como energía calórica, se obtendría un biol o bio abono para el cultivo de plantas, se realizarían buenas prácticas de disposición final de sus residuos sólidos, aportarían significativamente al cuidado del medio ambiente en la disminución de los gases de efecto invernadero y se realizaría una práctica de desarrollo sostenible.

#### **1.1.1. SITUACION ACTUAL (CAUSAS Y EFECTOS)**

El municipio de puerto tejada cuenta con una población de 45976 habitantes según el DANE en su informe de proyecciones 2005 al 2020 de los cuales el 88.2% vive en la zona urbana; teniendo en cuenta que en el municipio se producen 807.30 toneladas de residuos sólidos urbanos mensuales y el 60 y 65% de estos son orgánicos, asumimos que se genera 0.39 kg/habitante o 1.90 kg/familia/día de residuo sólido orgánico. La mayor generación y concentración de estos se encuentra en la plaza de mercado municipal.

El manejo integral de los residuos sólidos de puerto tejada no es el mejor. Cerca del 70% de los residuos sólidos generados y recolectados en el municipio no son dispuestos de manera segura los cuales contaminan el suelo y las fuentes hídricas, diseminan olores desagradables, causando detrimento a la salud, al medio ambiente, generando tendencias insostenibles y ocasionándole problemas

jurídicos por demandas de la comunidad ante la corporación autónoma regional del cauca CRC por sus malas prácticas ambientales.

El prestador del servicio de aseo en puerto tejada es la empresa **CAUCASEO LIMPIA S.A ESP** que cuenta con los siguientes equipos:

- Vehículos de recolección
- Caucáseo opera dos (2) equipos compactadores, propiedad del municipio, marca Kodiak modelo 2000 de 14 y 3 con capacidad de 7,5 ton cada uno.
- Rutas de recolección nueva y recoge 28 ton/día.
- Se llevan al sitio de disposición final 4 viajes de residuos al día de residuos
- 4 operarios de recolección.
- 2 conductores de recolección.

En las zonas rurales donde no llega el servicio de transporte y recolección de residuos sólidos estos son incinerados o enterrados según sus costumbres.

El municipio de puerto tejada dispone sus residuos sólidos en un sitio llamado relleno sanitario el cortijo el cual es un basurero a cielo abierto, ubicado a 2.5 km del casco urbano y no cuenta con la infraestructura exigida por la ley para garantizar una buena práctica ambiental y la salud de la comunidad.

Teniendo el gran volumen de residuos sólidos orgánicos que se genera diariamente en puerto tejada y las malas prácticas o acciones relacionadas con los diferentes tipos de residuos orgánicos (restos de frutas y verduras, excrementos de ganado vacuno y porcino) y su total desaprovechamiento, se ve la necesidad de recolectar de manera selectiva y en la fuente todos aquellos residuos de tipo orgánicos que puedan ser biodegradables y aprovechados energéticamente de lo contrario seguirá contribuyendo al desarrollo no sostenible.

En puerto tejada las buenas prácticas del material orgánico generado, la instalación o implementación de los biodigestores y el aprovechamiento del biogás y abono líquido resultante son nulas debido al desconocimiento del tema, factores

económicos de las familias, falta de interés por la administración municipal, cultura ambiental e inversión por entidades privadas entre otros.

### **1.1.2. PRONOSTICO.**

Teniendo en cuenta el diagnóstico realizado a la manera como se viene desarrollando el tema de saneamiento en el municipio de puerto tejada y el desaprovechamiento de sus potenciales, nos podemos adelantar a decir que es un indicativo de desarrollo y de la calidad de vida que tendrá el municipio a futuro.

Lo que se pretende decir con esto es que urge adoptar medidas y políticas serias que vallan en pro de la conservación de nuestro medio ambiente, aprovechándolo de manera responsable y garantizando un mejor futuro para nuestras generaciones o sea un desarrollo sostenible

Los impactos ambientales son causados por el hombre y el hombre mismo puede evitar que se hagan irreparables.

### **1.1.3. CONTROL PRONOSTICO**

Se es necesario el desarrollo de proyectos que, en compañía de las instituciones encargadas del control ambiental y el apoyo de entes privados, permitan un avance en estas políticas, pero, sobre todo, que se creen herramientas que ayuden a sacar mejor provecho de los recursos, enriqueciendo cada vez más los sistemas de información y preparar posibles planes de ejecución en caso de una alerta natural. Así, los estudios de pronósticos y escenarios ambientales de corto y largo plazo para el apoyo de la toma de decisiones en prevención de desastres

ambientales y generación de energía plantean un avance importante hacia una de las muchas soluciones que requiere este problema.

La mejor opción y alternativa para reparar los daños ya causados es precisamente tratar de minimizar al máximo, lo cual, por medio de la educación ambiental, el cambio de nuestros comportamientos y hábitos, la implementación de un plan de manejo de residuos sólidos integral urgente, el sentido de pertenencia, el amor propio por la naturaleza, el interés común por el ambiente y las acciones en conjunto de toda la comunidad donde se involucre de forma integral a manera de concientización y sensibilización donde se compruebe y se demuestre que la naturaleza es sinónimo de vida, oportunidad y progreso.

## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

Con la interesante propuesta de adoptar, construir e implementar un biodigestor a escala doméstica no sólo se pretende enseñar a la comunidad y porque no a estudiantes interesados en conocer acerca del tema, cuestiones específicas del funcionamiento de estos sistemas, sino generar un producto llamado biogás para su beneficio común y demostrar de manera práctica lo provechoso y necesario que es el reciclado de los desechos sólidos en general y para este proyecto los residuos orgánicos en especial.

Bajo las anteriores consideraciones, en el siguiente proyecto se pretende evaluar la disposición de la materia orgánica generada por las comunidades de puerto tejada, por tanto, es importante evaluar si con la generación de biogás proveniente de la fermentación anaerobia de estos residuos y el estiércol de animales, se genera la siguiente pregunta:

**¿Será posible que con la implementación de un biodigestor artesanal domiciliario podría satisfacerse las necesidades energéticas, caloríficas y/o mecánicas para las comunidades en puerto tejada, y en términos económicos, qué tan viable resulta?**

### **1.3. SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA.**

Los residuos orgánicos domiciliarios y de algunos excrementos animales en la actualidad no deben verse como un problema, más bien puede verse como una oportunidad económica y ambiental para el mejoramiento de nuestra calidad de vida. **¿Por lo tanto será posible el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos mediante la implementación y uso de biodigestores?**

La necesidad del desarrollo global se asocia, habitualmente, a la existencia de graves problemas que afectan a quienes viven en este medio, particularmente en los países en desarrollo, pero también en los países llamados desarrollados.

Por lo tanto, todas las comunidades deben aportar y apuntar hacia el alcance de sus metas a través de la práctica del buen uso y aprovechamiento de los recursos naturales. **¿Con la implementación de los biodigestores artesanales se aportaría a la práctica de un desarrollo sostenible?**

El crecimiento demográfico es un factor a tener en cuenta en la generación de gases de efecto invernadero, sumado a esto vemos que sus actuaciones o acciones son también muy influyentes, es por ello que generar alternativas para mitigar su producción es primordial. **¿La técnica de la utilización de biodigestores contribuiría a la reducción de gases de efecto invernadero?**

El norte del Cauca y Puerto Tejada en particular son regiones que no se escapan de la exclusión en cuanto a los avances de desarrollo y tecnológicos de los últimos años en Colombia y en el mundo entero, produciendo estas migraciones de sus habitantes a las grandes ciudades en busca de oportunidades que permitan mejorar su calidad de vida, pero también permitiéndoles ser más creativos en el manejo de su economía, uso y aprovechamiento de sus recursos. **¿Aportarían significativamente los biodigestores al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades de Puerto Tejada Cauca?**

Las actuales estrategias o ideas implementadas para el aprovechamiento del material orgánico domiciliario en la producción de energías limpias tienen como objetivo disminuir la contaminación ambiental, reducir costos por gastos energéticos, la no dependencia de combustibles fósiles y además atender a la necesidad de mejorar en su conducta ambiental. **¿Entonces podemos decir que la obtención de energías limpias tendrá impactos positivos para la comunidad y el medio ambiente?**

En relación con el deterioro del medio ambiente considero que es necesario señalar que las sociedades de consumo son las responsables fundamentales de la atroz destrucción del medio ambiente, por tanto la crisis ambiental se torna esencialmente cultural, para rebasar la crisis y volver a un punto de relación armónica entre la naturaleza y la sociedad se requieren nuevas concepciones donde se integran valores, ideologías, tradiciones, conocimientos científicos y empíricos. **¿Será posible mejorar en la comunidad el aprovechamiento, disposición final de los residuos sólidos orgánicos y cuidado del medio ambiente mediante el fortalecimiento de la cultura ambiental?**



## **CAPITULO II**

### **JUSTIFICACION**

#### **2.1. JUSTIFICACIÓN**

Con la construcción y puesta en marcha de este proyecto se busca satisfacer las necesidades energéticas, caloríficas y económicas de la comunidad de un sector del municipio de puerto tejada llamado bosques del limonar, a la vez reducir las emisiones de gases efecto invernadero y aplicar la tecnología del biodigestor para obtener biogás de lo que comúnmente son desechos orgánicos

También de busca afianzar los conocimientos adquiridos durante el programa de gestión ambiental y se da una alternativa al manejo de residuos sólidos orgánicos generados en el sector; el proyecto quiere brindar una alternativa eficiente a la problemática existente en el municipio y por ende servir como modelo al mundo entero en cuanto al manejo de los residuos sólidos, dado que las actuales soluciones como los rellenos sanitarios municipales han tenido más desaciertos que aciertos en cuanto a la gestión integral de los residuos sólidos.

### **2.1.1. JUSTIFICACIÓN TEORICA**

Con la propuesta del diseño de un biodigestor artesanal para el aprovechamiento de la materia orgánica domiciliar y agrícola generada por las comunidades en puerto tejada cauca, se propone como alternativa para que las actividades antrópicas desarrolladas en este sector se realicen de manera sostenible, y que las comunidades reincorporen la materia orgánica generada en forma de combustible, calor y/o energía. El uso de esta tecnología no es nuevo, pero en los últimos años ha cobrado gran interés debido a la actual crisis energética y su alto costo, producto del agotamiento de los combustibles fósiles. Adicionalmente con la propuesta de diseño se pretende lograr beneficios de tipo ambiental, socio-económico y tecnológico.

La idea de este proyecto en torno a la utilización de los residuos orgánicos de la comunidad, es resolver el problema de los desechos a través de la producción y utilización de biogás, mediante la degradación anaeróbica de la materia orgánica generada por el consumo y disposición final de estos residuos orgánicos, obteniendo como resultado final la producción de energía térmica y eléctrica que permita reemplazar la energía convencional que se utiliza en nuestras comunidades. La generación y uso del biogás como fuente de energía renovable, es una opción con garantía de rentabilidad, pues no sólo resuelve un problema ambiental al momento de reutilizar materia orgánica, sino que permite a la comunidad un ahorro económico al volverse autosustentable en energía eléctrica, calorífica y bioabono. El reaprovechamiento económico del metano generado por los residuos puede colaborar en la reducción de la emisión de gases invernadero. Así mismo, puede contribuir a reducir el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles lo cual trae consigo adopción de tecnologías de acuerdo a las posibilidades de los productores para el aprovechamiento de los residuos. Además, como subproducto de la cogeneración, el proceso proporciona lodos residuales que pueden usarse como biofertilizantes de excelente calidad y de más rápida producción, contribuyendo de esta manera a la conservación y el sostenimiento de la fertilidad del suelo.

Entre los factores que determinan este uso como una alternativa viable que garantizar una fuente de energía renovable y confiable más limpia, podemos citar los siguientes ítems que también son impulsores del proyecto:

- Mejora la sustentabilidad y sostenibilidad de la actividad.
- Ayuda a mitigar el cambio climático, al prevenir que el metano sea liberado en el aire.
- Reduce la contaminación del agua.
- La materia prima es de fácil recuperación.
- Mejora las condiciones de higiene.
- Aprovecha un residuo que generalmente no se reutiliza.

- Es una fuente de energía renovable.
- Reduce la utilización de agro químicos para el suelo a través del biol.

Además de los puntos anteriormente mencionados cabe destacar el hecho de auge del biogás que es una temática muy mencionada en la actualidad, que ofrece la apertura de una nueva línea de investigación que nos permitirá crecer como país tanto intelectualmente como académicamente.

Adicionalmente con el uso de biodigestores se resolverán una serie de problemas que enfrenta nuestro país tanto en el sector rural como urbano, entre los que se destacan la quema de los bosques, la disposición inadecuada de residuos y acumulación de estos, y la muerte de los organismos descomponedores de la materia, lo que conlleva a la infertilidad, degradación y desertificación de los suelos, la destrucción de las fuentes acuíferas, la contaminación de los mantos de agua, en fin, todos perjuicios que le causamos como especie al planeta.

El biogás es más barato a largo plazo que las leña, menos contaminante, y con más aplicaciones y utilidades, puesto que con inversiones adicionales se puede obtener diversidad de aplicaciones como las anteriormente mencionadas a la vez que se utiliza un residuo. Con esta investigación se busca explicar en qué consiste el proyecto de producción de biogás a partir de residuos orgánicos y los beneficios que conlleva dar a conocer esta clase de proyectos para el desarrollo del país, considerando la preocupación por el medio ambiente y la sociedad en general, ya que el medio en el que vivimos no es solo para los que viven en el presente, sino para las futuras generaciones, de igual manera, la solución que se busca no solo tiene un interés individual sino colectivo el cual debe identificar el mundo para reaccionar y tomar conciencia en el control de los residuos generados, no solo reciclando sino buscando una forma de hacer útil la producción de estos desechos para dar solución un problema que tanto aqueja a la sociedad de hoy como lo es el abastecimiento energético. El país necesita tecnologías

amigas del medio ambiente, la unidad de producción agropecuaria, requieren maximizar el uso de sus recursos, y este tipo de tecnología es una muestra clara de que nada en el mundo puede considerarse como desecho inutilizable. Son muchas las bondades de éste proyecto, además los requerimientos económicos para inversión son relativamente bajos, cuando los comparamos con los beneficios que se puede obtener al usar estas tecnologías.

### **2.1.2. JUSTIFICACION METODOLOGICA**

De acuerdo con lo establecido en la investigación realizada a cerca de la problemática actual en el municipio de puerto tejada con relación al material orgánico generado tanto por las familias como por el pueblo en general, el biodigestor debe desarrollarse a partir de un diagnóstico integral inicial, de la evaluación de la situación actual para encontrar las debilidades y fortalezas, de la identificación de posibles escenarios futuros, del diseño y puesta en marcha del proyecto, identificando la cantidad de los residuos, sus características físico químicas para posteriormente escoger el modelo o tipo de biodigestor indicado que cuente con la capacidad y alcance las eficiencias requeridas para solucionar el problema.

El biodigestor y el biogas obtenido serán expuestos a seguimiento y monitoreo, que permita avanzar hacia condiciones óptimas en un esquema de mejoramiento continuo.

El biodigestor contiene en su interior microorganismos en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo dióxido de carbono. Primeramente, los componentes de

alto peso molecular, tales como las proteínas y los polisacáridos son degradados en sustancias solubles de bajo peso molecular tales como aminoácidos y azúcares, esta etapa es a veces llamada "fase de licuefacción".

Seguidamente, los nutrientes orgánicos son convertidos en ácidos menos grasos en una fase de "fermentación ácida", la cual baja el pH del sistema. Finalmente, en la fase de "fermentación de metano" o "metanogénica", los ácidos orgánicos son convertidos en metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de hidrógeno.

### **2.1.3. JUSTIFICACION PRÁCTICA**

Una vez justificado teórica y metodológicamente es pertinente argumentar y certificar que la implementación del biodigestor, el aprovechamiento del biogás y el bioabono o biol generado durante la degradación del material orgánico tratado, será una muy buena herramienta que ayudará a mitigar los impactos ambientales originados por los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global y a la vez el aporte tan significativo que se estará realizando a la comunidad y al medio ambiente. También es importante resaltar que mediante la adopción e implementación de las nuevas técnicas y metodologías para la obtención y el aprovechamiento de las energías alternativas, se estará dando un paso importante al mejoramiento continuo que conlleve a la sostenibilidad y a la vez se aportara un granito de arena para la estabilización ambiental del entorno, mejoramiento en la calidad de vida del sector, se incentivara a la cultura ambiental y esto causara un impacto positivo al planeta en general. La construcción de un biodigestor contribuye aún y cuando sea modesta para una mayor sustentabilidad. El concepto de sustentabilidad ha cobrado mayor importancia a nivel mundial y puerto tejada no es la excepción; su significado ha sido relacionado con el cuidado

de los recursos naturales para las generaciones venideras. La comisión Brundtal sostiene que es el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la habilidad de futuras generaciones a satisfacer sus propias necesidades (Verdejo 2000).

El uso de fertilizantes químicos y la deposición de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en las aguas de los ríos ha tenido una influencia en el medio ambiente.

### **CAPITULO III**

#### **OBJETIVOS**

### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Construir un biodigestor artesanal casero para producir biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios o excrementos de animales, a través de la digestión anaeróbica, para su utilización como fuente de energía renovable.

### **3.2. OJETIVOS ESPECIFICOS**

- Aprovechar los residuos orgánicos domiciliarios y de algunos animales que se generan a diario en grandes o pequeñas cantidades y cuya disposición final generalmente no es la adecuada.
- Demostrar la viabilidad y sostenibilidad a pequeña y gran escala de los sistemas de producción de biogás a partir de desechos orgánicos por medio de la implementación de esta técnica de biodigestion anaerobia.

- Contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, así como la sostenibilidad global de los entornos rurales y urbanos por la implementación de energías renovables.
- Introducir nuevas tecnologías energéticas, limpias y económicas a partir de la producción de biogás.
- Fortalecer en la comunidad la cultura y educación ambiental a través de jornadas de educación ambiental.
- Bajar los costos producidos por el consumo de energía eléctrica en la comunidad, a partir del consumo del biogás como energía calórica.

## **CAPITULO IV**

## **REFERENTES DE LA INVESTIGACION**

### **4.1. REFERENTE TEORICO**

La situación energética mundial se caracteriza por la desigualdad tanto de la oferta como de la demanda, siendo, además, la energía el elemento limitante que frena o retrasa el desarrollo económico de una región.

La revolución energética en el futuro cercano debe estar marcada por dos grandes metas: suministro descentralizado (especialmente como abastecimiento a las comunidades vulnerables) y sustitución de las fuentes de energía basadas en el carbono fósil por energías que no incrementen la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

Estos cambios deben ir acompañados de la implementación masiva de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) para poder concretarse.

El uso de FNCE en Colombia en el periodo 1990-2009 representó el 21,38% de la oferta total (1.534.478 TJ/año en promedio), con la siguiente distribución: 9,46% hidroeléctrica, 7,10% madera, 4,59% pulpa de caña de azúcar, 0,013% energía eólica, 0,08% biodiesel y 0,14% bioetanol. (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, IAvH 2011).

Las Zonas No-Interconectadas (ZNI) en Colombia corresponden al 66% del territorio nacional, con el 4% de la población principalmente en zonas rurales o aisladas. Alrededor del 10% de la energía consumida en estas zonas corresponde a FNCE (como las energías fotovoltaicas, biomasa y mini hidroeléctrica), mientras que el resto de consumo es suplido con generadores diesel para producción de energía eléctrica (Ministerio de Minas y Energía, Colombia MME, 2010).

Además, el uso extensivo de madera como fuente de energía tiene un impacto considerable en la vegetación local (Surendra, 2014; Subedi 2014).

#### **4.1.1. Tecnología de biogás**

**Aplicación del Biogás.** El biogás puede ser empleado en diferentes aplicaciones que cubren los usos a nivel doméstico, comunitario e industrial. A escala doméstica, se pueden emplear biodigestores de 2-16 m<sup>3</sup> de capacidad, generalmente para aplicaciones de cocción, calefacción e iluminación, como autoabastecimiento en zonas rurales o aisladas en las cuales se generan cantidades considerables de residuos orgánicos (Surendra, 2014; Song, 2014; Raha, 2014; Walekhwa, 2014; Mwirigi, 2014).

A escala comunitaria, pueden emplearse biodigestores de mayores capacidades como suministro de biogás para poblaciones compuestas por varias viviendas agrupadas, para edificios comunitarios como colegios o comedores, para suministro de servicios públicos como iluminación urbana, o para comercios como los restaurantes. Los biodigestores normalmente utilizados tanto a nivel doméstico como comunitario son de tipo manga tubular o semienterrados de domo flotante o fijo.

Las características de cada uno de ellos los diferencian en función de los materiales de los que están contruidos (cemento, plástico, acero inoxidable, etc.), su ubicación (enterrados o elevados), orientación (horizontales o verticales), y tipo de carga (continua o discontinua) (Guardado Chacón, 2007; Pinzón, 2004; Orskov, 2014).

Los biodigestores de tipo industrial pueden ser utilizados como fuente de energía térmica, en plantas de ciclo combinado para cogeneración de calor y electricidad o como combustible de transporte, aunque algunas de estas aplicaciones requieren la purificación del biogás para eliminar los gases diferentes del metano. Este tipo de biodigestores pueden encontrarse en rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas residuales (Pasqualino, 2009), industrias procesadoras de alimentos, agroindustrias (tales como las plantas procesadoras de aceite de palma) (Arrieta, 2007; Conil, 2009), entre otras.

#### **4.1.2. Situación Mundial.**

La tecnología de digestión anaerobia para obtención de biogás se ha utilizado ampliamente en países de Europa, especialmente en Alemania, donde la legislación promueve y apoya proyectos de producción de biogás, especialmente en el sector rural. En Asia, los países que han desarrollado ampliamente esta tecnología son China e India, donde se ha implementado el uso de biodigestores

en zonas rurales y pequeñas comunidades (Cendales, 2011; Ferrer, 2011; Song, 2014; Raha, 2014).

En China, por ejemplo, se construyeron 5 millones de nuevas unidades en el año 2010, alcanzando un total de 40 millones de biodigestores. En India, se reportaron 4,4 millones de biodigestores en operación en 2011, con el apoyo del Programa Nacional para la gestión de Biogás y Fertilizantes (Mwirigi, 2014).

En África, se están desarrollando varios programas de fomento de esta tecnología, como los programas nacionales de biogás doméstico, entre ellos la Asociación Africana de Biogás, que ha promovido la construcción de unas 70.000 plantas de biogás en Ruanda, Tanzania, Kenia, Uganda, Etiopía, Camerún, Benín y Burkina Faso, con la colaboración económica de la Organización Holandesa de Desarrollo (Orskov, 2014; Mwirigi, 2014). En Latinoamérica, la tecnología de producción de biogás se ha desarrollado escasamente, debido a la falta de disponibilidad de la tecnología, los costos de inversión inicial y la fácil disponibilidad de madera como combustible en zonas rurales. Se han implementado pequeñas instalaciones en zonas rurales, en Colombia, Costa Rica, Perú y Bolivia, como iniciativa de los propios campesinos y, en algunos casos, con el apoyo de agencias de cooperación internacional (Cendales, 2011; Ferrer 2011; Pérez, 2014). Como ejemplo, se reporta el uso de digestores tubulares de plástico tanto en zonas tropicales como en zonas andinas, reportando buenos resultados (Ferrer, 2011).

#### **4.1.3. Situación en Colombia.**

El uso de biodigestores domésticos en Colombia a escala rural se ha venido desarrollando lentamente, dado el escaso apoyo institucional que se ha dado a este tipo de proyectos. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología en zonas andinas y algunas demostraciones a nivel doméstico han fomentado el crecimiento del sector en los últimos años. No se dispone de un registro completo de las

pequeñas instalaciones disponibles a nivel rural, debido, principalmente, a que la mayor parte de las mismas son consecuencia de la iniciativa de los usuarios sin contar con un apoyo externo. A mayor escala, se reportan algunas experiencias, tal como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1. Proyectos de biogás reportados en Colombia.**

Proyecto nombre o localización	Descripción	Referencias
Palmeras del Llano	Planta de extracción de aceite de palma. Biodigestor hormigón, 750 m3 de capacidad. Aplicación biogás para la generación de electricidad. Instalado en 1987	Conil, 2009
Palmar Santa Elena	Planta de extracción de aceite de palma. Biodigestor hormigón, 500 m3 de capacidad. Aplicación biogás para la generación de electricidad. Instalado en 1991.	Conil, 2009
Palmeiras	Planta de extracción de aceite de palma. Carpa cubierta laguna, 7.000 m3 de capacidad. Aplicación del biogás para la generación de electricidad. Instalado en 1999	Conil, 2009
Cali	Proyecto MDL: Autogeneración de biogás como energía renovable en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo de EMCALI	*MDL, UNFCCC, 2009
Cali	Proyecto MDL: Recuperación y combustión de metano en el tratamiento de lodos existente sistema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo de EMCALI.	*MDL, UNFCCC, 2009
Pasto	Proyecto MDL: Construcción, operación y mantenimiento de sistema de colección y quema de biogás en el relleno sanitario Antanas.	*MDL, UNFCCC, 2009
Puerto Leguizamo (Putumayo)	Planta piloto de Biogás para generación de energía.	MME, 2010
San Carlos de Guaroa (Meta)	Aceites Manuelita, 2 biodigestores 19.000 m3, procesa 300.000 Ton/año de material, aplicación en Planta de Biodiesel.	Biotec, 2013
Sabana de Torres (Santander)	Oro Rojo, Grupo Indulpalma, biodigestor 16.000 m3, procesa 150.000 ton/año de material, sin aplicación (tea).	Biotec, 2013

Solo 3 proyectos se han reportado en Colombia dentro de los Mecanismos de Desarrollo Limpio; sin embargo, el auge de los cultivos de palma y la necesidad de tratamiento de los efluentes líquidos originados en las extractoras de aceite ha fomentado la implementación de proyectos en este sector.

#### 4.1.4. Potencial en Colombia.

En Colombia, en 2009 aproximadamente, el 93% de los residuos sólidos fueron dispuestos de forma adecuada, la mayor parte de los mismos en rellenos sanitarios. El resto fueron dispuestos en cuerpos de agua, en botaderos a cielo abierto, fueron quemados o enterrados (DNP, 2011; IAvH2011). A pesar de ello, Colombia presenta serias desigualdades a lo largo de su territorio, como por ejemplo, la situación del departamento de Bolívar, donde en 2008 apenas el 45% de la población recibió un servicio adecuado de recolección de residuos. Se estima que el departamento dispone unas 150 Ton/día de residuos de forma descontrolada, por lo general en los cuerpos de agua y suelos abandonados. En el caso del sector rural, el departamento de Bolívar tiene una cobertura de recolección de residuos de apenas 0,5%, contra la cobertura nacional promedio de 1,9% (Departamento Administrativo de Planeación DAP, 2011). En países en desarrollo como Colombia, los residuos domésticos están compuestos hasta 2/3 de material orgánico, con densidades de 300 a 600 Kg/m<sup>3</sup> (United Nations Human Settlements Programme UN-HABITAT, 2010a). Los restaurantes callejeros, vendedores de jugos de frutas y mercados públicos generan grandes cantidades de residuos de alimentos que en muchos casos reciben un servicio de recolección pobre o inadecuado, el cual, combinado con los malos hábitos culturales de la población, genera la acumulación de residuos en las calles, muchas veces junto a cuerpos de agua. Los residuos dispuestos en las calles suelen bloquear los sistemas de alcantarillado causando inundaciones, estancamiento de agua, cría de mosquitos y otros vectores de enfermedades y la contaminación de los cuerpos de agua que normalmente utiliza la población para abastecerse para consumo, cocción y limpieza. Específicamente en Colombia, las altas temperaturas sumadas a las condiciones de humedad ambiente, aceleran el proceso de degradación de los residuos, aumentando la generación de lixiviados y los efectos de los mismos sobre los ecosistemas (United Nations Human Settlements Programme UN-HABITAT, 2010b). Un ejemplo de esta situación se observa en los alrededores

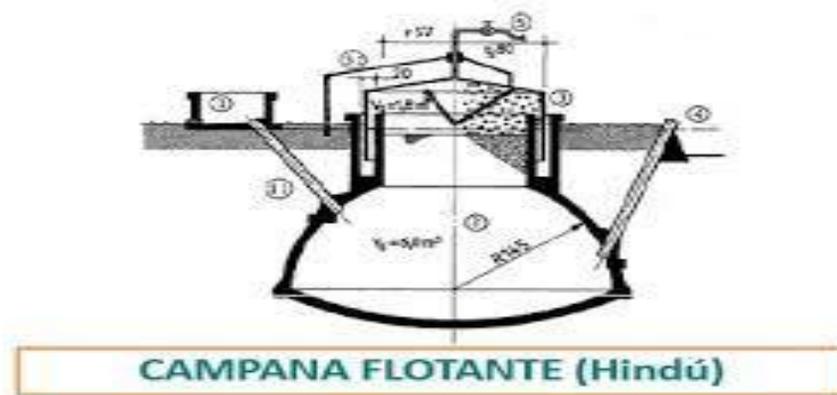
de la Ciénaga de Las Quintas, la cual limita con el Mercado de Bazurto en Cartagena de Indias, donde los residuos sólidos (en su mayoría restos de alimentos) se acumulan en las calles y junto a la ciénaga, tal como se observa en la Figura 1, presentando procesos de degradación in situ y generando olores ofensivos y gases, entre ellos el metano, que se liberan a la atmósfera. Los residuos orgánicos domésticos tienen un potencial de generación de metano de 0,1 a 0,93 m<sup>3</sup> /Kg de materia seca (Surendra, 2014), valor que depende de la composición de los mismos. Teniendo en cuenta que una familia de 3-4 miembros consume alrededor de 0,5 m<sup>3</sup> de gas para cocción al día, se necesitaría un máximo de 5 Kg de materia seca/día para autoabastecerse, cantidad que se reduce si se combinan con residuos de elevado potencial o mediante la codigestión. Estas cantidades no son fáciles de obtener a nivel doméstico en una ciudad; sin embargo, a nivel rural, si se suman los residuos procedentes de la preparación de alimentos con los restos de las actividades agrícola ganaderas, es posible alcanzar niveles de producción constantes que permitan el autoabastecimiento.

**Biodigestores:** son conocidos también como plantas (productoras o de producción) de biogás, son recintos o tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un periodo de tiempo, para lograr su descomposición, produciendo biogás y bioabono (Yank et al., sf; Pedraza et al. 2002; Ramón et al. 2006). De acuerdo, con (Arboleda Olaya & González Salcedo, 2009) los biodigestores o plantas de biogás se clasifican en tres tipos principales.

**La planta con cúpula o campana flotante:** Se compone de un digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, la cual puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás. La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del

volumen de gas almacenado (Vargas 1992). Es conocido también como biodigestor indio, y puede ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior (Olaya 2006). Figura 1.

**Figura 1. Esquema de una planta de campana flotante tipo hindú. (Arboleda Olaya & González Salcedo, 2009)**



Sus ventajas son: la mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas; la presión de gas es constante; y es de fácil manejo. Entre las desventajas están el alto costo en la construcción de la campana; en la mayoría de los casos, la campana es metálica y estará sujeta a corrosión, cuya protección a esta acción incrementa el costo y requiere un mantenimiento periódico de la campana, incrementando los costos de operación (Hilbert 2003).

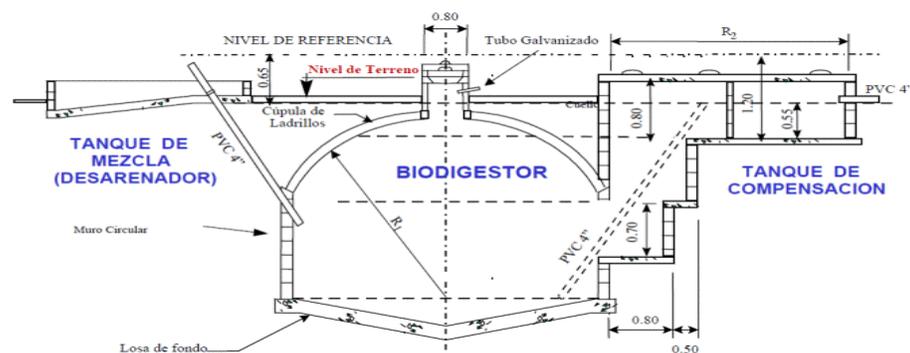
**La planta con cúpula o campana fija:** Se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia

el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante (Vargas 1992). Es conocido también como biodigestor chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte (Olaya 2006).

Entre sus ventajas se tiene una larga vida útil de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable; y su construcción es subterránea, que lo protege contra bajas temperaturas (Hilbert 2003).

Entre sus desventajas se encuentran que la presión de gas no es constante; la presión puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas; y presenta costos de construcción más bajos que el biodigestor de campana flotante tipo hindú, (Hilbert 2003). Figura 2.

**Figura 2. Esquema de una planta de cúpula fija. (Arboleda Olaya & González Salcedo, 2009)**



**La planta balón o biodigestor tubular:** La planta de balón se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilina, entre otros, y una

combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta (Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002).

La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes (Vargas 1992; Pedraza et al. 2002).

Entre sus ventajas, están: sus materiales de construcción son de fácil transporte; su instalación y adecuación del sitio son sencillas; es apropiado en sitios con nivel freático alto, por su construcción horizontal; y entre los tipos de biodigestores, es el de menor costo de construcción y operación. Son desventajas, la baja presión de gas; una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione; debe protegerse contra los rayos solares; y el material plástico está sujeto a daños, siendo necesario en lo posible encerrarse el área adyacente al biodigestor. (Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002; Aguilar & Botero 2006). La planta de balón plástico, se muestra en la figura 3.

**Figura 3. Esquema de una planta de balón plástico. (Arboleda Olaya & González Salcedo, 2009)**



#### 4.1.5. FUNDAMENTOS SOBRE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGÁS

El término biomasa se refiere entonces a cualquier tipo de materia orgánica que tiene su origen en un proceso biológico, siendo ejemplo de esta biomasa la madera, los desechos agrícolas y el estiércol animal; la biomasa puede convertirse en energía a través de dos procesos, el bioquímico, en el cual se ubica la tecnología del biogás, y el termoquímico [Posso 2002].

La biomasa se clasifica de acuerdo con las siguientes categorías [Posso 2002]: natural, que corresponde a la que se produce espontáneamente en la naturaleza, como bosques, matorrales, hierbazales, entre otros; residual, obtenida de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, como los estiércoles que son usados como materia prima para la producción del biogás; y de plantaciones energéticas, que corresponde a cultivos energéticos, es decir plantaciones que están dedicadas a la producción de un combustible, como la caña de azúcar, el maíz, especies de palma, entre otros [FAO 2008].

Una forma inmediata de aprovechar el recurso biomásico, es a partir de la fermentación anaeróbica, proceso denominado digestión anaeróbica, en el cual se convierte la compleja materia orgánica en metano ( $\text{CH}_4$ ) y otros gases, y cuya producción depende de la cantidad y del tipo de materia adicionada al sistema, así como las condiciones psicométricas del aire en el interior del sistema; se ha podido establecer que usando materia altamente biodegradable se obtiene 0.5 m<sup>3</sup> de gas por Kg de masa, con un 70% de Metano [Guzmán 2008].

Las bacterias fermentan el material orgánico en ausencia de aire (es decir, fermentación anaeróbica) y producen biogás; este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua (el cual incrementa la fluidez del material de fermentación, característica importante para

el funcionamiento de una planta de biogás), y su componente inorgánico no sufre modificación alguna durante el proceso de fermentación [Guevara 1996]. El biogás que generalmente se produce, es un gas incoloro, inflamable, y contiene 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con aportes menores de Nitrógeno, Hidrógeno, y gas sulfhídrico; su poder calorífico es de 4400 Kcal/m<sup>3</sup> [Guzmán 2008].

El proceso de fermentación se compone de tres fases principales [Guevara 1996; Ramón et al. 2006]: una primera fase, de hidrólisis, donde las bacterias fermentativas o acidogénicas hidrolizan los polímeros y las convierten a través de la fermentación en ácidos orgánicos solubles; una segunda fase, de acidificación, donde las bacterias acetogénicas causan una metabolización de los complicados ácidos orgánicos en acetatos (CH<sub>3</sub>COOH), dihidrógenos (H<sub>2</sub>) y carbodióxidos (CO<sub>2</sub>); y una tercera fase, de metanización, donde las proteínas, hidratos de carbono y grasa, los aminoácidos, alcoholes y ácidos grasos que se formaron en las fases anteriores, se convierten en metano, bióxido de carbono y amoníaco. En la última fase el material de fermentación se vuelve más líquido.

Diversos factores influyen en el funcionamiento del biodigestor, los cuales son descritos a continuación [Guevara 1996; Hilbert 2003]:

- Temperatura y tiempo de retención: el rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor, clasifican la fermentación de la siguiente manera [Alcayaga et al. 1999]:

Fermentación psicrófila, para un rango de temperatura entre 10 y 20°C y más de 100 días de retención.

Fermentación mesofílica, para un rango de temperatura entre 20 y 35°C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.

Fermentación termofílica, para un rango de temperatura entre 50 y 60°C y más de 8 días de retención. Este tipo de fermentación no es apropiada para plantas sencillas.

- Relación C/N: Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y también contienen nitrógeno (N), entonces se establece la relación entre ellos (C/N), la cual influye sobre la producción de gas [Alcayaga et al. 1999]. Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable [Alcayaga et al. 1999], aunque el valor ideal es de 16 [Corace et al. 2006]; mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas [Alcayaga et al. 1999].

La tabla 2, muestra las relaciones C/N para varios productos residuales [Guevara 1996; Corace et al. 2006]:

**Tabla 2. Relaciones C/N de varios productos residuales [Guevara 1996; Corace et al. 2006].**

SUSTANCIA	RELACION C/N
Orina	0.80
Estiércol equino	25
Estiércol vacuno	18
Alfalfa	16-20
Algas marinas	19
Aserrín	19
Basura	25
Cáscaras de papa	25
Paja seca de trigo	87
Paja seca de arroz	67
Tallo del maíz	53
Hojas secas	41
Estiércol de aves	32
Pasto	27
Estiércol ovino	29
Estiércol de cerdos	13
Excretas frescas humanas	2.90

Para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, se deben combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimientos y diferentes velocidades de generación; la relación C/N de la combinación puede ser calculada como [Guevara 1996]:

$$K = \frac{\sum C_i X_i}{\sum N_i X_i}$$

Donde, K es la relación C/N de la combinación de materias escogidas para la carga, N es el porcentaje de nitrógeno de la materia i, C es el porcentaje de Carbono de la materia i, y X es el peso de la materia i.

**Niveles de amoniaco:** Este parámetro es importante cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje, como es el caso de los estiércoles de aves [Álvarez et al., sf].

Se recomienda que los niveles dentro de los digestores se mantengan por debajo de los 2000 mg/l, para lo cual se aumentan las diluciones de entrada del material [Álvarez et al., sf].

**PH:** Está en función de la concentración de CO<sub>2</sub> en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima [GTZ-CVCOEKOTOP 1987].

Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7.2) [GTZ-CVC-OEKOTOP 1987].

El pH del lodo de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin problemas, y su medición indica el comportamiento de la carga de fermentación

dentro del digestor, para la producción de biogás, como es mostrado en la tabla 3 [gtz-cvcoekotop 1987].

**Tabla 3. Comportamiento carga de fermentación dentro del biodigestor vs valor ph. [gtz-cvc-oekotop 1987]**

pH	Comportamiento
7 – 7.2	Óptimo
6.2	Retarda la acidificación
7.6	Retarda la amonización

Contenido de agua de la mezcla: Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña [Álvarez et al., sf]. Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada [Álvarez et al., sf]. El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 Kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua [Álvarez et al., sf]. Cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1: 4 [Álvarez et al., sf]. La actividad de mezclar, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso [Álvarez et al., sf].

**Materiales orgánicos:** Las actividades pecuarias y agrícolas, producen materiales orgánicos que pueden ser tratados mediante el proceso anaeróbico [Acevedo 2006], como se muestra en la tabla 4 [Botero & Preston 1986; Vargas 1992; Ramón et al. 2006]

**Tabla 4. Características de los estiércoles [Botero & Preston 1986; Vargas 1992].**

Datos básicos	Ganado	
	Porcino	vacuno
Cantidad estiércol fresco/24 horas en porcentaje de peso vivo (PV)	3%	6%
Porcentaje de sólidos volátiles (SV) en estiércol fresco	20%	16%
Cantidad de estiércol por 500 Kg de PV	15 Kg	30 Kg
Cantidad de sólidos volátiles por 500 Kg de PV	3 Kg	4.8 Kg
Producción de Biogás por 100 Kg de PV	0.25 m3	0.21 m3
Producción de Biogás por Kg de SV	0.42 m3	0.22 m3

Otros materiales orgánicos de origen animal también pueden emplearse como sustrato para la obtención de biogás y bioabono [Álvarez et al., sf; Torres & Follari, sf], cuyas características se muestran en la tabla 5 [Vargas 1992].

**Tabla 5. Características de otros materiales orgánicos de origen animal, utilizados para carga en biodigestores [Álvarez et al., sf; Torres & Follari, sf; Vargas 1992].**

Origen	Cantidad diaria		% material de fermentación		Litros de biogás por un kg de sólidos orgánicos
	Estiércol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	% Sólidos totales	% Sólidos orgánicos	
Caprinos y ovinos	3	1.5	30	20	200
Equinos	5	4.0	25	15	250
Avícola	4.5	4.5	25	17	400

Los residuos vegetales como paja, pasto y desechos de verdura, pueden fermentarse anaeróbicamente debiendo previamente triturarse para evitar la formación de capa flotante y dar un tratamiento especial en plantas donde se hace

una sola carga hasta que el material se descompone [Vargas 1992; Ramón et al. 2006]. [Álvarez et al., sf], Tabla 6.

**Tabla 6. Residuos vegetales y posible producción de biogás [Álvarez et al., sf].**

<b>Material fresco</b>	<b>% sólidos totales</b>	<b>% sólidos orgánico</b>	<b>Litros de biogás por un kg de sólidos orgánicos</b>
Paja de arroz	89	93	220
Paja de trigo	82	94	250
Paja de maíz	80	91	410
Hierba fresca	24	89	410
Jacinto de agua	7	75	325
Bagazo	65	78	160
Desecho de verdura	12	86	350

#### **4.1.5.1. LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.**

El tratamiento anaerobio es un proceso microbiológico en ausencia de oxígeno, en el que la materia orgánica se transforma por acción de microorganismos en biogás y bioabono [Yank et al., sf]; en él se implica la realización de una serie de reacciones bioquímicas donde participan microorganismos, de los cuales una parte son oxidados completamente por el carbono formando anhídrido carbónico, mientras otra es reducida en alto grado para formar metano [Guevara 1996].

El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas [Vargas 1992; Guevara 1996; Hilbert 2003], hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis, y metanogénesis, las cuales son descritas a continuación [Ramón et al. 2006]:

**Hidrólisis:** En esta etapa, los substratos complejos (celulosa, proteína, lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.

**Acidogénesis:** En esta etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcohol, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Esta etapa se conoce también como fermentativa. Es decir, es un periodo de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de fácil descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ácidos orgánicos y bicarbonatos; su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5.1 y 6.8 [Guevara 1996].

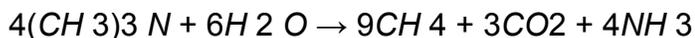
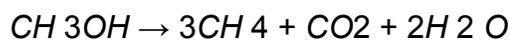
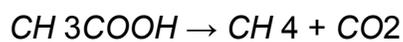
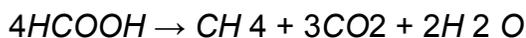
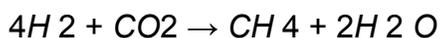
**Acetanogénesis:** Esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metanogénicos. Es decir, es un periodo donde se producen ataques a los ácidos orgánicos y compuestos nitrosos, en pequeñas cantidades hay producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno e hidrógeno, bicarbonatos y de compuestos amoniacales; se caracteriza por presentar mal olor debido a la presencia de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), flotación de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6 y 6.8 [Guevara 1996].

**Metanogénesis:** En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula.

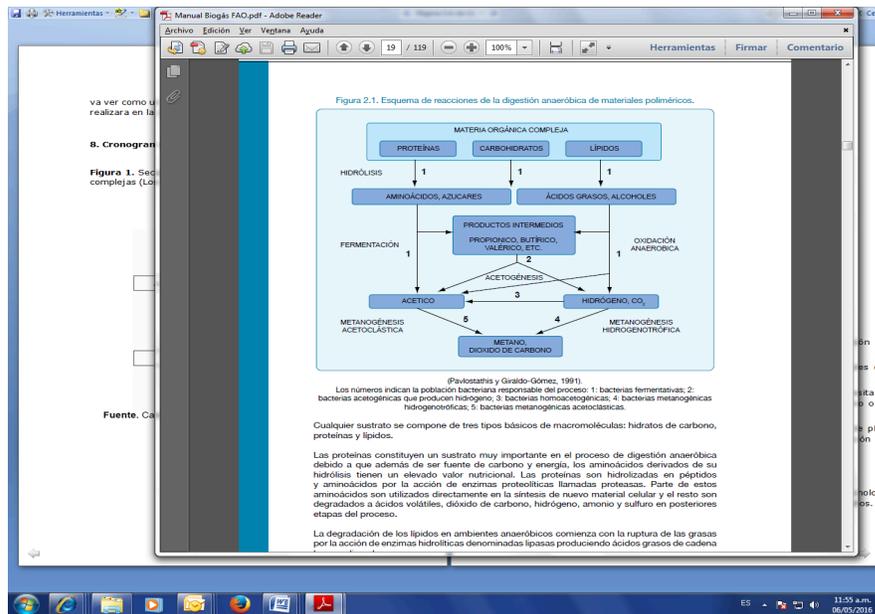
Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno [Guevar 1996].

Como características del material digerido, están el olor a alquitrán, hay pequeñas cantidades de sólidos flotantes, y el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6.9 y 7.4 [Guevara 1996].

Las bacterias metanogénicas sólo pueden usar un número limitado de de sustratos para la formación de metano, éstos son CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, acetato, metanol, metilamina, y monóxido de carbono; las reacciones de conversión más usuales en la producción de energía que involucran estos compuestos son [Márquez 2005]:



**Figura 4. Secuencia de procesos en la digestión anaerobia de macromoléculas complejas (Los números se refieren a porcentajes, expresados como DQO). (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).**



#### 4.1.5.2. CONDICIONES DEL PROCESO ANAEROBIO

En párrafos anteriores fueron descritos los factores influyentes en el funcionamiento de un biodigestor.

En el proceso de tratamiento anaerobio de la materia orgánica, se requiere de las siguientes condiciones [Yank et al., sf; Vargas 1999; Guevara 1996; Ramón et al. 2006]:

**PH:** Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6.0 [Vargas 2006]. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 [Vargas 2006].

**Temperatura:** Se habían definido tres ambientes anaeróbicos, en función de la temperatura. Un adecuado funcionamiento del biodigestor para cada ambiente,

recomienda los siguientes rangos de temperatura: 0 – 20 °C, para el ambiente psicrófilico; 20 – 45 °C, para el ambiente mesófilico; y 45 – 97 °C, para el ambiente termófilico [Alcayaga et al. 1999].

Las bacterias que crecen en cada uno de estos ambientes son organismos diferentes [Vargas 2006]. Torres & Follari s.f., y Guevara 1996, sugieren controlar la temperatura, para aumentar la eficiencia, usando serpentines de agua caliente dentro del digestor, con el objetivo de aumentar la temperatura del efluente.

**Tiempo de retención:** El tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación.

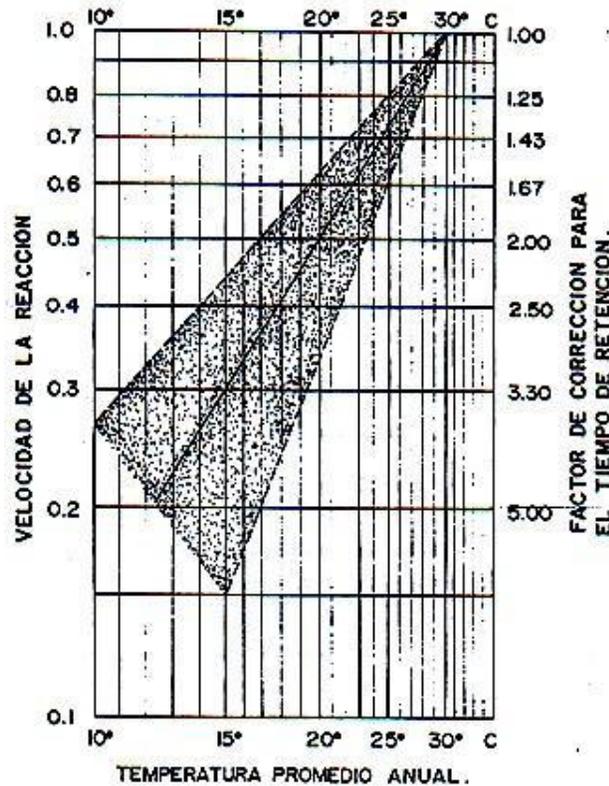
El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas del proceso, con una temperatura de 30 °C, el tiempo de retención (Tr) debería ser de 20 días; sin embargo, algunos autores han sugerido para cada ambiente los respectivos tiempos de retención, que comúnmente se presentan en biodigestores, como se muestra en la tabla 7. [Olaya 2006], debido a la variación de la temperatura, la cual es difícil de controlar.

**Tabla 7. Tiempo de retención [Olaya 2006]**

Ambiente	Tiempo de retención [días]
Psicrófilico	> 40
Mesófilico	10 – 40

Esta variación de temperatura afecta el tiempo de retención, el cual varía de acuerdo con el factor de corrección que puede ser determinado con la figura 2 [Vargas 1992].

Figura 5. Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención [Vargas 1999].



**Relación C/N:** La relación C/N influye sobre la producción de biogás, siendo la relación adecuada entre 20:1 y 30:1 [Alcayaga et al. 1999].

**Amoniaco:** Para un correcto funcionamiento del biodigestor, los niveles dentro del sistema deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/l [Álvarez et al., sf].

#### 4.1.5.3. COMPONENTES DE UN DIGESTOR ANAEROBIO

**Reactor.** Es un mecanismo donde ocurre el proceso bioquímico de transformación de la materia orgánica. Los reactores de digestión suelen ser de forma cilíndrica,

cúbica, ovoide o rectangular. Digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuyo fin es impedir que escapen olores a causa de los gases que se crean por las reacciones, conservar la temperatura, impedir la entrada de oxígeno y recoger el gas producido (Silva, 2013).

**Ingreso del Afluente.** El afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario. El estiércol de ganado bovino, en una mezcla de 1:3 es suficiente como se ha visto en la práctica.

La intención de estas operaciones es ingresar el residuo, lo más homogéneo posible, con las condiciones fisicoquímicas adecuadas al proceso a ser sometido, sin elementos que puedan dañar el digestor (Silva, J. 2014)

**Salida del Afluente.** En un digestor de cobertura fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante instalados a diferentes niveles, o un único tubo con válvulas a diferentes niveles, para la extracción del mismo. Otros digestores como los de flujo continuo tienen solo una salida del afluente por donde sale los sólidos y los líquidos.

**Extracción de Lodos.** Las tuberías de extracción de lodos son colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se elimina por el centro del reactor. Estas tuberías poseen, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para impedir obstrucciones, se utilizan para llevar diariamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos. (Silva, J. 2014)

**Sistema de Gas.** El proceso de digestión anaerobia origina de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen. Entre el 1% o 2 % del gas del digestor se compone de otros gases. Debido a la presencia de metano (60%),

el gas del digestor tiene un poder calorífico próximo de 500 a 600 kilocalorías por litro (Silva, J. 2014) El sistema de gas lo traslada el digestor hasta los puntos de consumo. El mismo que se compone puede contener algunas de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad.
- Apaga llamas.
- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Tuberías PVC.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes. (Portales)

#### **4.1.5.4. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Existen diversos beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás. La presión económica sobre los productos agrícolas convencionales se encuentra en continuo aumento. Muchos agricultores se ven obligados a renunciar a su producción, principalmente debido a que sus tierras no presentan rendimientos rentables. (Silva, 2013)

La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos - varias granjas-, y de codigestión - tratamiento conjunto de residuos orgánicos de diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales.

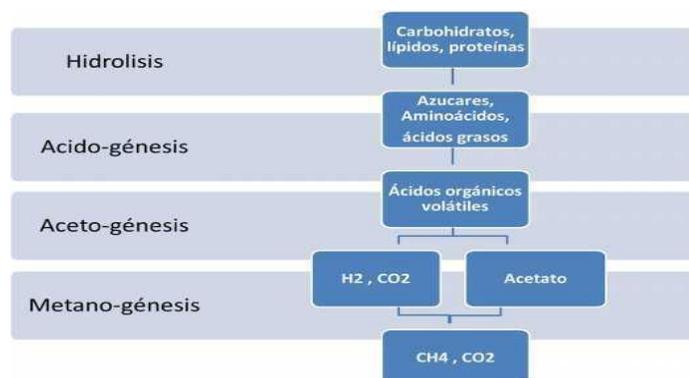
### Biogás.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado 'biodigestor'. La biomasa se mezcla en el digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes.

Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico. El diagrama de la figura 6 indica las diversas etapas de la digestión anaerobia (Chaúr)

**Figura N. 6. Etapas de la digestión aeróbica Fuente: (Chaúr)**



### **El Biogás Para Generación de Electricidad**

El biogás puede ser utilizado como combustible para motores diesel y a gasolina, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del Aceite Combustible para Motores (la baja capacidad de

ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad del acpm en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). Aunque en los motores a gasolina el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma, en general en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural (Castells págs. 86-87)

### **El Biogás Para Combustible Para Cocina**

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. Los microorganismos metano génicos desempeñan la función de enzimas respiratorios, junto con las bacterias no metano génicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. (Castells págs. 101-102)

#### **4.1.5.6. Manejo del Biogás Producido**

El biogás debe removerse del biodigestor y transportarse hacia el sitio donde se hace su aprovechamiento. El biogás debe ser manejado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener presente que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Mientras más larga sea la tubería de gas mayor será la caída de presión presentándose la necesidad de adaptar a la línea un soplador. La tubería de gas debe estar provista de un sistema que permita eliminar el agua de condensación ya que generalmente el biogás está saturado con agua. El ácido sulfhídrico generado en la digestión anaerobia al mezclarse con agua condensada forma ácidos corrosivos por lo que deben tomarse precauciones ya que equipos como los refrigeradores y artefactos para agua caliente sensibles a estos ácidos. Una alternativa a la remoción del ácido sulfhídrico es la de usar los denominados Biofiltros o sistemas de tratamiento biológico donde previa inyección de una cantidad específica de aire en el depósito de almacenamiento de gas la mezcla resultante se alimenta a un bioreactor consistente de un lecho o material de soporte donde el  $H_2S$  es oxidado biológicamente por bacterias. (Vinasco, J., 2015)

#### **4.1.5.7. Ventajas de los Biodigestores**

- Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.

- Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos.
- Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:
- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol.
- Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente.
- En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- Control de patógenos.
- Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive al proceso de biodigestión.
- En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 – 70% y los hongos en 95% en 24 horas.
- (Hilbert, 2009)

#### 4.1.5.8. Dificultades Técnicas de los Biodigestores

La construcción de biodigestores conlleva una serie de dificultades técnicas.

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- Es posible que, como subproducto, se obtenga H<sub>2</sub>S, el cual es tóxico y Corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfato reductoras.
- La presencia de H<sub>2</sub>S hace que se genere menos CH<sub>4</sub>, disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.
- Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles. (Hilbert, 2009)

#### 4.2. REFERENTE CONCEPTUAL

**Biodigestor.** La definición sencilla de digestor es un contenedor cerrado herméticamente dentro del cual en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) se optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias que descomponen los residuos ingresados; hay que tener en cuenta que estos digestores son una valiosa alternativa de tratamiento de desechos orgánicos.

**Régimen de carga.** Esta clasificación se refiere a la frecuencia de carga de volumen en el digestor.

**Flujo por lote.** Se carga en una sola tanda, una vez cargados no permiten extraer o añadir más sustratos hasta que finalice el proceso completo de biodegradación y producción de biogás. En otras palabras, el proceso finaliza cuando no se produce más biogás.

**Digestión anaerobia.** La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.

Para Ruiz este proceso lo llevan a cabo bacterias anaerobias que actúan en el interior de un biodigestor, la velocidad de digestión depende de algunos parámetros o factores básicos de funcionamiento, los cuales en un tiempo dado trabajan conjuntamente para obtener resultados como: biogás, abono orgánico, y agua residual.

**Fases no metanogénica.** En esta fase tienen lugar dos subprocesos que se realizan de forma simultánea:

En primer lugar ocurre la hidrólisis, donde las bacterias transforman la materia orgánica que está compuesta de largas cadenas de polímeros y las rompen, estas se convierten en cadenas más cortas y simples como son los carbohidratos, proteínas y lípidos. Seguidamente ocurre la fermentación ó acidogénesis de los compuestos generados durante la hidrólisis; como producto de la fermentación se obtienen los ácidos grasos volátiles (AGV) y dióxido de carbono.

**Fases metanogénica.** La primera parte de esta fase es Acetogénesis, donde básicamente las bacterias convierten los compuestos resultantes de la acidogénesis en acetato, de acuerdo a Biava en esta etapa una serie de microorganismos anaeróbicos, somete a un proceso de fermentación al sustrato de la etapa no metanogénica convirtiéndola en hidrógeno y dióxido de carbono.

Por último, y para tener en cuenta que Salamanca menciona que las bacterias convierten el ácido acético en metano y dióxido de carbono, donde se trata de bacterias metanogénicas las cuales son estrictamente anaeróbicas.

Se considera que aproximadamente el 70% del metano generado durante el proceso de digestión anaeróbica es producto de la metabolización del acetato.

**Hidrólisis:** rompimiento de las partículas en macromoléculas por medio de microorganismos hidrolíticos

**Acidificación:** transformación de las macromoléculas a ácidos grasos por medio de microorganismos acidogénicos

**Acetogénesis:** transformación de los ácidos grasos a ácido acético, por medio de un grupo específico de microorganismos acetogénicos.

**Metanización:** proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno.

**Dióxido de carbono:** Gas inodoro e incoloro que se desprende en la respiración, en las combustiones y en algunas fermentaciones.

**Sulfuro de hidrógeno**, denominado ácido sulfhídrico en disolución acuosa ( $H_2S_{aq}$ ), es un hidrácido de fórmula  $H_2S$ . Este gas, más pesado que el aire, es inflamable, incoloro, tóxico, odorífero: su olor es el de materia orgánica en descomposición, como de huevos podridos.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Cantidad de oxígeno necesario para degradar químicamente todos los compuestos orgánicos.

**Ácidos grasos volátiles (AGV) :** son ácidos orgánicos de cadena corta ( 2 a 5 carbonos), producto intermedio de la degradación anaerobia de materia orgánica,

y corresponden al producto de la etapa acidogénica y a su vez son sustrato de la etapa acetogénica

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Cantidad de oxígeno necesario para degradar químicamente todos los compuestos orgánicos.

**Biogás:** Principal producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual, su principal componente es el metano que es un hidrocarburo combustible altamente energético, incoloro e inodoro.

**PH:** Indica el grado de acidez o de alcalinidad de una solución. La acidez aumenta con valores decrecientes por debajo de 7.0, y la alcalinidad aumenta con valores crecientes por encima de 7.0

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para convertir en compuestos estables la materia orgánica a los 5 días.

**Metano:** Principal producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual, es un hidrocarburo combustible altamente energético, incoloro e inodoro.

**Aspecto ambiental:** Interacción de un individuo o un proceso con el medio ambiente.

**Impacto ambiental:** Consecuencia derivada de la interacción de un individuo o proceso con el medio ambiente.

**Biomasa:** Procedente del aprovechamiento de la materia orgánica formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente sacada de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos, o sus restos y residuos. (Taiganides, E. 2008)

**Combustible:** Materiales que se han formado a partir de organismos vivos que existieron en tiempos remotos en la Tierra y es capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor.

**Dimensionamiento:** Proceso por medio del cual se indican las medidas reales de los objetos representados en un dibujo.

**Enzima:** Moléculas de naturaleza proteica y estructural que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles y hace que una reacción química transcurra a mayor velocidad que sin la presencia de la enzima.

**Fermentación:** Es realizada por diferentes bacterias y microorganismos en medios anaeróbicos, es decir, en ausencia de aire, por eso es un proceso de oxidación incompleta.

**Material sedimentable:** Materia sólida recogida sobre una superficie y está constituida por las partículas y el polvo que caen directamente luego de un estado de reposo.

**Microorganismos:** son aquellos seres vivos más diminutos que únicamente pueden ser apreciados a través de un microscopio. En este extenso grupo

podemos incluir a los virus, las bacterias, levaduras y mohos que pululan por el planeta tierra.

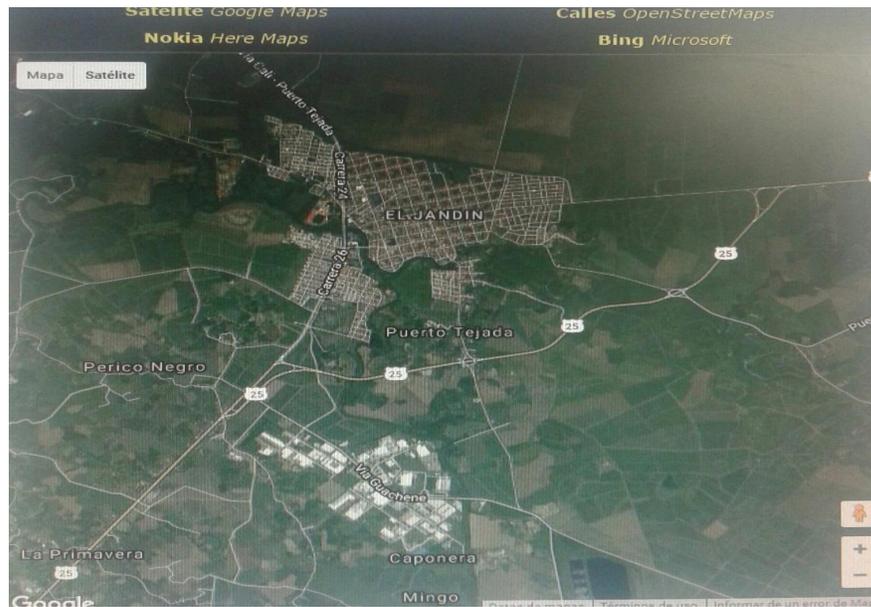
**Sustratos:** Es una molécula sobre la que actúa una enzima.

**Biofertilizantes:** son productos a base de microorganismos benéficos del suelo, en especial bacterias y/o hongos, que viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan de manera natural a su nutrición y crecimiento, además de ser mejoradores de suelo.

**Biol** es el resultado de la fermentación de residuos orgánicos o estiércol y agua a través de la descomposición y transformaciones químicas de residuos orgánicos

en un ambiente anaerobio, el cual puede ser utilizado como nutriente o abono para huertos. Tras salir del biodigestor, este material ya no huele y no atrae insectos una vez utilizado en los suelos.

#### 4.4. REFERENTE CONTEXTUAL



**Mapa 1. Municipio de puerto tejada cauca vista satelital.**

##### 4.4.1. Municipio de Puerto Tejada.

El Municipio de Puerto Tejada se encuentra localizado al Sur Este del Valle Geográfico del Río Cauca y al Nororiente del Departamento del Cauca y en la confluencia de los ríos Palo y Paila. Limita al Norte con los Municipios de Cali, Candelaria, por el occidente con el municipio de Jamundí, todos pertenecientes al departamento del Valle del Cauca; por el oriente con el Municipio de Padilla y por

el Sur con los municipios de Villa Rica y Caloto. El área total del municipio es de 102 Kilómetros cuadrados (11.169.07 hectáreas). Km<sup>2</sup>

- **Distancia de referencia:** Puerto Tejada se encuentra 17 Km de la ciudad de Cali y a 108 Km de Popayán, cuenta con una población de 45976 habitantes según el DANE en su informe de proyecciones 2005 al 2020 de los cuales el 90% en la zona urbana y el 10% en la zona Rural. Desde el punto de vista étnico se estima que el 90% de la población es Afro colombiana y el 10% es mestiza. Puerto Tejada es uno de los municipios con una envidiable ubicación geográfica en la zona Norte Caucana, lo que permite tener una ventaja de carácter estratégico; la fertilidad del suelo debido a que los sedimentos que aportan los ríos Palo y Guengue contienen cal y esquistos metamórficos y margosos de la cordillera central, estas consideraciones le dan unas condiciones propicias para convertirse en un polo de desarrollo en el Norte del Cauca para el nuevo milenio. Este municipio presenta una “topografía plana con pendientes entre los 0 y 3%, con una altura promedio de 969 M.S.N.M, predominio de clima cálido y según la clasificación de pisos térmicos (Caldas-Lang). El Municipio de Puerto Tejada corresponde al Bosque Ecuatorial, con precipitaciones pluviales entre los 1.000 – 2.000 mm. La humedad relativa varía entre 70 – 75%, cuenta con una importante red hídrica, representada por los ríos cauca, Palo, desbaratado y sus tributarios que surcan el territorio municipal.
- **Longitud:** Entre 76o 34' y 74o 54' oeste.
- **Latitud:** 4o 52' y 5o 08' norte
- **Extensión área urbana:** 368.1 Km<sup>2</sup>
- **Extensión área rural:** 10.800.97 Km<sup>2</sup>
- **Temperatura media:** 24 ° C

#### **4.5. REFERENTE LEGAL O NORMATIVO**

El presente proyecto es una herramienta que pretende fomentar el uso de energías renovables, contribuir con el medio ambiente y aportar a las prácticas de desarrollo sostenible.

A continuación, se relacionan las principales normas y decretos relacionados con el presente proyecto, amparado en la normatividad internacional ambiental y en la constitución política de Colombia.

##### **Colombia Prospectiva Ambiental Nacional**

La Carta Constitucional define el carácter social del Estado y en este marco reconoce la protección del medio ambiente como principio fundamental y derecho colectivo.

Allí, se establecen y sintetizan los elementos claves que hoy orientan el manejo ambiental de país: protección del ambiente; compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia económica; control fiscal; participación ciudadana y respeto por la cultura a través de los siguientes principios fundamentales:

##### **Derecho a un ambiente sano**

**Artículo 79**, constitución nacional de Colombia (CN) consagra que:

Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.

La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines ”.

##### **El medio ambiente como patrimonio común**

**Artículo 8**, la CN incorpora este principio al imponer al Estado y a las personas la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales.

**Artículo 95**, es deber de las personas y del ciudadano proteger los recursos naturales y velar por la conservación del ambiente.

**Artículo 58**, la propiedad es una función social que implica obligaciones y, como tal, le es inherente una función ecológica.

### **Desarrollo Sostenible**

Definido como el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

**Artículo 80**, El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución.

**La ley 99 de 1993-** Ley del Medio Ambiente, crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

**La ley 1450 de 2011**, mediante la cual se formula el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, indica que “durante el cuatrienio 2010-2014 se incorporarán los siguientes ejes transversales en todas las esferas del quehacer nacional con el fin de obtener la Prosperidad para todos: una sociedad a la cual la sostenibilidad ambiental, la adaptación al cambio climático, el acceso a las tecnologías Renovables”.

**Decreto 2811 de 1974**, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

**EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA**, en ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la Ley 23 de 1973 y previa consulta con las comisiones designadas por las Cámaras Legislativas y el consejo de Estado, respectivamente.

**DECRETA:**

El siguiente será el texto del código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.

**ARTÍCULO 1.** El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social.

La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.

**ARTÍCULO 2.** Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:

1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de éstos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.

2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos.

3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la Administración Pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.

**El Congreso de Colombia, DECRETA:**

**ARTÍCULO 1.** Declarase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

**ARTÍCULO 2.** El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

**REPÚBLICA DE COLOMBIA**

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Dirección de desarrollo tecnológico y protección sanitaria. Programa nacional de agricultura ecológica. “Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaçado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos”

**Ley 23 de 1973**, Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo.

**Decreto 1753 de 1994**, Define la licencia ambiental (LA): naturaleza, modalidad y efectos; contenido, procedimientos, requisitos y competencias para el otorgamiento de LA.

**Decreto 2150 de 1995**, Reglamenta la licencia ambiental y otros permisos. Define los casos en que se debe presentar Diagnóstico Ambiental de Alternativas, Plan

de Manejo Ambiental y Estudio de Impacto Ambiental. Suprime la licencia ambiental ordinaria.

**Ley 491 de 1999**, Define el seguro ecológico y delitos contra los recursos naturales y el ambiente y se modifica el Código Penal.

**Decreto 1076 de 2015**. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

**Ley 1466 de 2011**. “Por el cual se adicionan, el inciso 2o del artículo 1o (objeto) y el inciso 2o del artículo 8o, de la Ley 1259 del 19 de diciembre de 2008, “por medio de la cual se instauró en el territorio nacional la aplicación del Comparendo Ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros, y se dictan otras disposiciones.”

**Ley 1333 de 2009**. “Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.”

**Ley 1252 de 2008**. “Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.”

**Decreto 838 de 2005**. “Por medio del cual se reglamentan las disposiciones finales de residuos sólidos.

**Decreto 1200 de 2004**. “Por el cual se determinan los Instrumentos de Planificación Ambiental.”

**Decreto 1505 de 2003**. “Por medio del cual se regula la gestión integral de residuos sólidos.”

**Declaración Johannesburgo 2002.** “Declaración (de los países mega diversos afines) sobre conservación y uso sustentable de la biodiversidad.”

**Ley 629 de 2000.** “Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.”

**Ley 491 de 1999.** “Por la cual se establece el seguro ecológico, se modifica el Código Penal y se dictan otras disposiciones.”

**Decreto 948 de 1995.** “Por el cual se reglamenta la regulación en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.”

**Ley 29 de 1992.** “Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono”, suscrito en Montreal el 16 de septiembre de 1987.”

**Declaración de Río 1992.** “Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.”

**Ley 30 de 1990.** “Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.”

**Ley 9 de 1979.** “Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.”

**Decreto 1608 de 1978.** “Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre.”

**Ley 697 de 2001 (octubre 3).** Diario Oficial No. 44.573, de 05 de octubre de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

**Ley 689 de 2001 (agosto 28).** Servicio Público y Aseo. Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994.

**Decreto 1228 del 6 de Mayo de 1997.** Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

**Ley 740 de 2002 (mayo 24.)** Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Montreal, el veintinueve (29) de enero de dos mil (2000).

**Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984.** Usos del Agua y Residuos Líquidos. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

**RESOLUCIÓN 97 DE 2017 (enero 24)** por la cual se crea el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales y se adoptan otras disposiciones.

**Resolución 97 de 2017** “por la cual se crea el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales y se adoptan otras disposiciones”

**Resolución 0376 de 2016:** casos que no requieren modificación de licencia ambiental.

**Decreto 1076 de 2015.** Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

**Ley 1454 de 2011.** “Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones.”

**Ley 1450 de 2011.** “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014.”

## **CAPITULO V**

### **ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA INVESTIGACION**

## 5.1. TIPO DESCRIPTIVO.

El presente proyecto se puede clasificar como de tipo descriptivo por los siguientes aspectos:

- Se considera descriptivo porque con el proyecto se busca beneficiar a las comunidades de puerto tejada con la disminución en gastos generados por la utilización energía eléctrica, a través de la utilización del biogás el cual puede ser utilizado como energía calórica.
- Porque se caracteriza el proceso de biodigestión, describiendo las propiedades del reactor, así como las condiciones necesarias para que el proceso de biodigestión ocurra efectiva y óptimamente.
- Se considera descriptivo porque se evidenciarán subproductos resultantes del proceso anaerobio que ocurre dentro del reactor.
- Se determinará la presencia de biogás por su expulsión fuera del reactor, gracias a las válvulas que poseen los biodigestores.
- Otro factor que afirmará la producción de biogás es el aumento el nivel del material orgánico en las cámaras de carga y descarga, respectivamente.
- Por su parte, se apreciará la producción de biomasa gracias al cambio de color y olor del material orgánico obtenido en la cámara de descarga, una vez que el material ha sido procesado dentro del biodigestor. Otro factor que indica que el proceso está ocurriendo es el aumento de temperatura de los reactores

También se determina que el proyecto es de tipo descriptivo, porque se basa en la construcción e implementación de un biodigestor artesanal casero a pequeña escala para demostrar que es posible el aprovechamiento de los residuos orgánicos que se genera en las casas y obtener además del biogás, un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, evitando en esta forma la competencia que se podría presentar con el aprovechamiento tradicional de los

residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustibles. La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987).

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990); o bien, el bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente en el entendido de que al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno (Day, 1987). De acuerdo con Mandujano (1981), un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg N ha<sup>-1</sup> de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos.

## **5.2. METODO**

### **5.2.1. Metodología de trabajo**

El proyecto se va a desarrollar a nivel domiciliario y de modo artesanal, coordinado y liderado por Ulder Hernan Barrera Valencia estudiante de la universidad tecnológica autónoma del pacifico UTAP.

El objetivo es desarrollar el proyecto como muestra piloto en un domicilio ubicado en el barrio bosques del limonar de puerto tejada cauca y luego extender el

alcance del mismo a la comunidad en general incentivándolos a que puedan adoptar este tipo de iniciativa de tecnologías a futuro, así como también a la población académica del municipio, lo cual les pueda servir como material de apoyo e investigación en proyectos de este tipo.

Durante el desarrollo del proyecto se plantea llevar a cabo la siguiente metodología de trabajo estructurada o dividida en 5 etapas:

### **Etapas 1: Planear. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos y diseño de prueba del biodigestor.**

1. Salida a campo para la recolección, selección y caracterización de los residuos sólidos orgánicos con el fin de establecer las necesidades de proceso para la obtención del biogás.
2. Selección de procesos, técnicas para remover los residuos identificados como peligros en la producción del biogás.
3. Establecer condiciones necesarias para que el biodigestor funcione correctamente. (asepsia, temperatura, pH, etc.)
4. Prueba del proceso de producción de biogás para definición de las capacidades y características del biodigestor
5. Identificación de posibles cambios en el proceso de producción de biogás.
6. Consolidar la información de esta fase.

### **Etapas 2: Diseño del biodigestor**

1. Elaborar ficha técnica del producto obtenido. (Biodigestor, biogás, biol)
2. Establecer variables de proceso a controlar.

3. Establecer necesidades de alimentación y capacidades reales del biodigestor.
4. Definir modo de operación del biodigestor.
5. Elaborar presupuesto para la adquisición de los elementos del biodigestor.
6. Elaborar cronograma de trabajo
7. Establecer relación costo-beneficio.
8. Ejecutar y dar inicio a la elaboración del biodigestor.
9. Biodigestor en funcionamiento.
10. Caracterización y análisis del Biol generado por el material degradado en la digestión anaerobia.
11. Resultados de la caracterización del Biol generado.
12. Escogencia del espacio o terreno apara la aplicación del Biol
13. Elaborar plan de mantenimiento de los equipos.

**Etapas 3: Generar energía calórica con Biogás, utilizando los residuos sólidos domiciliarios generados por el consumo de los mismos.**

1. Realizar el Estudio de utilización del biogas. Para obtener las características de aprovechamiento del mismo.
2. Presentar a la comunidad los resultados obtenidos del proyecto para su adopción.
3. Implementar condiciones de seguridad para la Distribución de Energía.

**Etapas 4: Verificar el proceso.**

1. Realizar pruebas fisicoquímicas del biogás obtenido en el proceso (calidad el biogás)

2. Verificar que el biogás se encuentre libre de contaminantes que pueden generar daño a los equipos que lo utilizan y a la salud de las personas.
3. Calcular la cantidad de biogás generado.

### **Etapa 5 Actuar: Ajuste de proceso**

1. Realizar ajustes necesarios en el proceso de biodigestión.
2. Implementar todas las acciones necesarias para lograr la estabilización del proceso y la calidad de biogás generado
4. Validar información a la comunidad interesada.
5. Realizar campañas de educación ambiental a la comunidad, para incentivarlos al cuidado del medio ambiente a través del aprovechamiento de los residuos sólidos y sus beneficios.

### **5.2.2. Materiales y construcción del biodigestor**

#### **El biodigestor y la entrada de materiales**

- Un tanque o bidón de 80 litros de capacidad. Generalmente son azules con tapa de cierre hermético.
- Tapón de limpieza sanitario (4"): Es una especie de adaptador con tapón enroscable.
- Segmento corto de tubo (4"): Pasa a través de la abertura y conecta el "adaptado-tapón" en el exterior con la reducción en la parte interna del tanque. Debe ser suficientemente corto para permitir que tanto la reducción como el adaptador-tapón aprisionen la pared de la tapa del tanque y así permitir una mejor sujeción y sellamiento. También se pueden usar bridas sanitarias pegadas con silicona al tanque. Figura 7
- Reducción PVC de 4" a 3"

- Tubo PVC sanitario (3"): Desde la reducción hasta 5cm antes del fondo del tanque.

**Para la salida del efluente:**

- Adaptador de tanque (2")
- Tubo PVC (2") para la tubería de salida del efluente
- 3 Codos PVC (2")
- Adaptador de tanque (1") para conectar la válvula
- Válvula de esfera PVC (1") Para la salida inferior del efluente más pesado.

**Para la salida del biogás (en orden):**

- Conector de tanque (1/2")
- Válvula de esfera con roscas (1/2")
- Adaptador para manguera
- Manguera.

**Para unir las partes y sellar:**

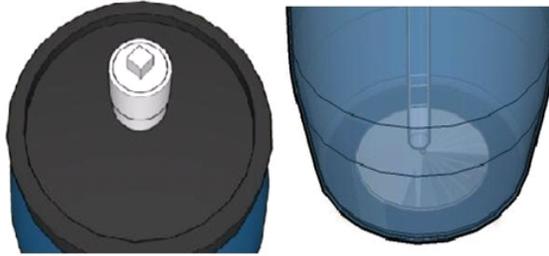
- Soldadura (pegamento) para PVC
- Silicona selladora transparente, resistente a hongos: Para sellar alrededor de las uniones al tanque e impedir filtración.

Al tanque se le realizan dos agujeros laterales y dos en la tapa. Uno en la parte lateral-inferior para la válvula de 1 pulgada; otro en la parte media para la salida de efluente. En la tapa uno será para la entrada del material y el otro para la salida del biogás, siempre del diámetro de la pieza que lo atraviesa.

**Para almacenar el biogás** se utiliza un depósito de neumático de llanta de carro o un cilindro para contener biogás. La manguera que viene del digestor se introduce a un bote plástico de 2.0 litros, que contiene agua en su interior a través del cual el

biogás ingresa, burbujea, sube y sale a través de otra manguera al neumático o al cilindro de almacenamiento a través de otra manguera para su respectivo uso.

**Figura 7. Entrada de matriales al biodigestor.**



**Figura 8. Materiales y construcción del biodigestor.**

# Bio-digestor



## Listado de Materiales

- a. 1 Tonel de 200 galones
- b. 1 Tubo de llanta
- c. 1 Bote plástico 1/1 rosca (preferible transparente)
- d. 1 Embudo para tubo de 2"
- e. 1 Tubo PVC  $\varnothing$  1" x 1.00 mts.
- f. 1 Tubo PVC  $\varnothing$  2" x 3.00 mts.
- g. 3 Adaptadores para tanque (Bulkhead fittings) PVC  $\varnothing$  1/2"
- h. 3 Adaptadores para tanque (Bulkhead fittings) PVC  $\varnothing$  2"
- i. 2 Codos PVC  $\varnothing$  1" x 90°
- j. 1 Codos PVC  $\varnothing$  2" x 45°
- k. 2 Tee PVC  $\varnothing$  1/2"
- l. 1 adaptador macho 1/1 rosca PVC  $\varnothing$  2"
- m. 1 tapón hembra 1/1 rosca PVC  $\varnothing$  2"
- n. 5 adaptadores macho 1/1 rosca PVC  $\varnothing$  1/2"
- o. 1 tapón hembra 1/1 rosca PVC  $\varnothing$  1/2"
- p. 1 Ullave de paso o de globo PVC  $\varnothing$  2"
- q. 2 Ullaves de paso de metal  $\varnothing$  1/2"
- r. 1 Manómetro o medidor de presión
- s. 1 accesorio adaptador para válvula de llanta.
- t. 1 Ullave o selector de ingreso para gas propano.
- u. Manguera de  $\varnothing$  1/2" x 3 mts. (transparente)
- v. Manguera de gas propano x 30 mts. (NO transparente)
- w. Un bote de pegamento para PVC.
- x. 4 abrazaderas  $\varnothing$  1/2"

**CAPITULO VI**  
**PRESUPUESTO**

## 6.1. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIGESTOR

**Tabla 8. Materiales**

1 tambor o tanque plástico de 15.0 litros
1 vejiga o neumático de carro
1 bote plástico 2.0 litros
1 embudo plástico salida 1 y ½"
2 metros de tubería PVC de 2"
1 metro de tubería PVC de ½"
3 adaptadores PVC 2" para tanque
3 adaptadores PVC ½" para tanque
1 adaptador macho PVC ½" rosca
1 tapón hembra PVC ½"
2 válvulas PVC de 2"
2 válvula cobre de ½"
2 válvulas 3/8" cobre
1 manómetro de 0 a 60 PSI
1 adaptador para válvula de llanta
3 metros de manguera ½" transparente
3 metros de manguera para gas 3/8"
1 reducción de cobre de ½" a 3/8"
1 racor de 3/8"
1 pote de pegamento mediano PVC
6 abrazaderas ½"
1 rollo cinta teflón grande.

## 6.2. CANTIDAD Y PRECIO DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIGESTOR

Tabla 9. Cantidad y precio de materiales

MATERIALES	CANT.	VALOR / UNIT	VALOR TOTAL
Tambor plástico 15 litros	1	20000	20000
Vejiga o neumático de carro	1	5000	5000
Bote plástico 2.0 litros	1	2000	2000
Embudo plástico salida 1 y ½"	1	2000	2000
Tubería PVC de 2" metros	2	5700	11400
Tubería PVC de ½" metros	1	1700	1700
Adaptadores PVC para tanque 2"	3	7500	22500
Adaptadores PVC para tanque ½"	3	300	900
Adaptador macho ½" rosca	1	300	300
Tapón hembra ½"	1	300	300
Válvulas PVC de 2"	2	28000	56000
Válvulas bronce de ½"	2	8500	17000
Válvulas bronce 3/8"	1	6500	6500
Manómetro de 0 a 60 PSI	1	50000	50000
Adaptador para válvula de llanta	1	40000	40000
Manguera ½" transparente metros	3	3000	9000
Manguera para gas 3/8" metros	3	2500	7500
Reducción de cobre de ½" a 3/8"	1	3000	3000
Racor de bronce 3/8"	1	2300	2300
Pote pegamento PVC	1	9800	9800
Abrazaderas ½"	6	700	4200
Transporte	6	5000	30000
plegables	50	700	35000
almuerzos	3	10000	30000

<b>total inversión</b>	<b>\$ 366400</b>
<hr/>	

### 6.3. CEDULAS PRESUPUESTARIAS.

Tabla 10. Cedulas presupuestarias.

#### PRESUPUESTO DE GASTOS OPERACIONALES CEDULA 1

##### 10. Cedulas presupuestarias.

CONCEPTO	ABRI L	MAYO
GASTOS ADMINISTRATIVOS		
TRANSPORTE	20000	10000
PAPELERIA	35000	
ALMUERZOS	20000	10000
MATERIALES BIODIGESTOR		27140 0
<b>TOTAL GASTOS OPERACIONALES</b>	<b>75000</b>	<b>29140 0</b>

#### PRESUPUESTO DE CAJA CEDULA 2

INGRESOS	ABRI L	MAYO
<hr/>		

<b>APORTES AL PROYECTO</b>	75000	29140 0
<b>TOTAL EFECTIVO DISPONIBLE</b>	75000	29140 0

<b>EGRESOS</b>	<b>ABRI L</b>	<b>MAYO</b>
----------------	-------------------	-------------

<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS</b>	75000	29140 0
<b>TOTAL EGRESOS</b>	75000	29140 0

<b>FLUJO CAJA</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
-------------------	----------	----------

**NOTA:**

Cabe anotar que el costo total de los materiales y accesorios descritos en este trabajo están sujetos a disminución, ya que algunos de los elementos aquí descritos pueden ser obtenidos de procesos de reciclaje, que de manera directa disminuyen el costo de la inversión final.

## **CAPITULO VII**

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

### 7.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (Diagrama de flujo tipo Gantt)

**Tabla 11. Cronograma actividades (Diagrama de flujo tipo Gantt)**

#	ETAPA	DETALLE DE ACTIVIDAD	AÑO 2017					
			M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O
1	<b>PLANEAR:</b>  Caracterización de los residuos sólidos orgánicos y diseño de prueba del biodigestor.	1. Salida a campo para la recolección, selección y caracterización de residuos sólidos orgánicos a fin de establecer las necesidades de proceso para la obtención del biogás.	x					
		2. Selección de procesos, técnicas para remover los residuos identificados como peligros en la producción del biogás.	x					
		3. Establecimiento de condiciones necesarias para que el biodigestor funcione correctamente. (Asepsia, temperatura, pH, etc.)	x					
		4. Prueba del proceso de producción de biogás para definición de las capacidades y características del biodigestor		x				
		5. Identificación de posibles cambios en el proceso de producción de biogás.		x				
		6. Consolidar la información de esta fase.		x				

#	ETAPA	DETALLE DE ACTIVIDAD	AÑO 2017					
			M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O
2	HACER: Diseño y ejecución del biodigestor	1. Elaborar ficha técnica del producto obtenido. (Biodigestor, biogás, biol)		x				
		2. Establecer variables de proceso a controlar.		x				
		3. Establecer necesidades de alimentación y capacidades reales del biodigestor			x			
		4. Definir modo de operación del biodigestor.			x			
		5. Elaborar presupuesto para la adquisición de los elementos del biodigestor			x			
		6. Elaborar cronograma de trabajo			x			
		7. Establecer relación costo-beneficio.			x			
		8. Ejecutar y dar inicio a la elaboración del biodigestor			x			
		9. Biodigestor en funcionamiento.			x			
		10. Caracterización y análisis del Biol generado por el material degradado en la digestión anaerobia				x		
		11. Resultados de la caracterización del Biol				x		

#	ETAPA	DETALLE DE ACTIVIDAD	AÑO 2017					
			M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O
3	Generar energía calórica con Biogás, utilizando los residuos sólidos domiciliarios generados por la comunidad	1. Realizar el Estudio de utilización del biogás Para obtener las características de aprovechamiento del mismo.				x		
		2. Presentar a la comunidad los resultados obtenidos del proyecto para su adopción.				x		
		3. Implementar condiciones de seguridad para el aprovechamiento y utilización del biogás generado.				x		

#	ETAPA	DETALLE DE ACTIVIDAD	AÑO 2017					
			M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O
4	VERIFICAR: Verificación del proceso	1. Realizar pruebas fisicoquímicas del biogás obtenido en el proceso (calidad el biogás)					x	
		2. Verificar que el biogás se encuentre libre de contaminantes que pueden generar daño a los equipos que lo utilizan y a la salud de las personas.					x	



## **CAPITULO VIII**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

#### **8.1. LITERATURA CITADA**

ACOSTA, M.E & PASQUALINO, J.C. (2014). Aprovechamiento integral de residuos sólidos orgánicos mediante generación de biogás y fertilizante. Encuentro Institucional de Semilleros de Investigación del Tecnológico Comfenalco – ESITC 2014.

ALCAYAGA, S.; GLARÍA, J.; GUERRERO, L.; (1999).Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, marzo.11p.DisponibleenInternet:

<http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/ALCAYAGA1c.pdf> [Consultada Enero 2009]

ARRIETA, F.R.P., TEIXEIRA, F.N., YÁÑEZ, E., LORA, E. & CASTILLO, E. (2007). Cogeneration potential in the Columbian palm oil industry: Three case studies. *Biomass and Bioenergy*, 31(7),503–511.

BIAVA. Nass. Digestión anaeróbica de Fecas de Conejos (*Oryctolagus Caniculus*) para la Producción de Biogás. Tesis Cs. Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias, 1988. Citado por: TELLEZ. Cristian. Diseño y selección de elementos para una planta de biogás. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Chile.: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ingeniería, 2008. 74 p.

BIOTEC. (2013). Número especial: Biodigestores para extractoras de aceite de palma. Newsletter Biotec External Bulletin, April 2013.

BOTERO B., R.; PRESTON, T.R.; (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – Universidad EARTH. San José, Costa Rica, 20p.

CENDALES LADINO, E.D. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.Co/4100/>

CONIL, P. & KERVYN B. (2009). Biogás con Efluentes de Palma: desde los Primeros Biodigestores de los Años 80 hasta los MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio) de los Años 2000. Proceedings of the Palm Oil International Palm Oil Congress - PIPOC 2009. Recuperado de [http://200.29.232.126/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/42-PC27-C77-\\_PIPOC-publicacion-espanol\\_-Sept-2-09.pdf](http://200.29.232.126/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/42-PC27-C77-_PIPOC-publicacion-espanol_-Sept-2-09.pdf)

CORACE, J.J.; AEBERHARD, M.R.; MARTINA, P.A.; VENTÍN, A.M.; GARCÍA S., E.; (2006). Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006, Universidad Nacional del Nordeste, Resumen T-034, 4p

Day, D. 1987. Management swine wastes. Asociación de Médicos Veterinarios Especialistas en Cerdos. Acapulco, Gro., México

Decreto 2928, Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo (2013). República de Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Departamento Administrativo de Planeación, Bolívar, Colombia (2012). Plan de Desarrollo Departamento de Bolívar 2012-2015: Bolívar Ganador. Cartagena, Bolívar: Colombia. Recuperado de [http://www.bolivar.gov.co/index.php?option=com\\_rokdownloads&view=file&task=download&id=1925%3Adocumento-tecnico-plan-dedesarrollo-bolivar-ganador-2012-2015&Itemid=316](http://www.bolivar.gov.co/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&task=download&id=1925%3Adocumento-tecnico-plan-dedesarrollo-bolivar-ganador-2012-2015&Itemid=316)

Departamento Nacional de Planeación, Colombia (2011).

FAO; (2008). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 2008, 162p.

Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderon, A. & Velo, E. (2011). Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1668–1674.

Flotats, X., Palatsi, J., Fernandez, B., Colomer, M. À. & Illa, J. (2010). Identifying anaerobic digestion models using simultaneous batch experiments. *Environmental Engineering and Management Journal*, 9(3), 313-318.

Guardado Chacón, J.A. (2007). Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Editorial CUBASOLAR

GUEVARA V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.

GUEVARA V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.

GUZMÁN S., J.C.; (2008). Apuntes sobre consumo energético de biomasa. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas Eficientes, La Paz, Bolivia, febrero, 19p.

HILBERT, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.

HILBERT, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.

Imprenta Nacional de Colombia. ISBN: 978- 958-8067-35-3. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Virtual/022166/022166.htm>.

Imprenta Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-8340-70-8. Recuperado de <https://sinergia.dnp.gov.co/SISMEG/Archivos/PND20102014%20Tomo%20II%20C D.pdf>

Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010. Bogotá: Colombia.

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) (2011).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP)

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR)

Ley 1715, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional (2014). República de Colombia. Congreso de Colombia.

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

McCaskey, A.T. 1990. Microbiological and chemical pollution potential of swine waste. pp. 12-32. In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos. CINVESTAV. Guadalajara, Jal., México.

Ministerio de Minas y Energía, Colombia (2010). Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE. Plan de acción 2010-2015 con visión al 2025. Bogotá: Colombia. Recuperado de [http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/ENERGIA/URE/Informe\\_Final\\_Consultoria\\_Plan\\_de\\_accion\\_Proure.pdf](http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/ENERGIA/URE/Informe_Final_Consultoria_Plan_de_accion_Proure.pdf)

Mwirigi, J., Balana, B., Mugisha, J., Walekhwa, P., Melamu, R., Nakami, S. & Makenzi, P. (2014). Socio-economic hurdles to widespread adoption of small-scale biogas digesters in Sub-Saharan Africa: A review. *Biomass and Bioenergy*, In press, doi: 10.1016/j.biombioe.2014.02.018.

OLAYA, Y.; (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

Orskov, B., Yongabi, K., Subedi, M. & Smith, J. (2014). Overview of holistic application of biogas for small scale farmers in Sub-Saharan Africa. *Biomass and Bioenergy*, in press, doi: 10.1016/j.biombioe.2014.02.028.

Pasqualino, J., Meneses, M., Abella, M. & Castells, F. (2009). LCA as a Decision Support Tool for the Environmental Improvement of the Operation of a Municipal Wastewater Treatment Plant. *Environmental Science and Technology*, 43, 3300–3307. doi: 10.1021/es802056r

Pedraza, G., J. Chará, N. Conde, S. Giraldo y L. Giraldo. 2002. Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. p. 145-166. En: Chará, J. D. (ed.). *Biodigestores plásticos de flujo continuo, investigación y transferencia en países tropicales*. CIPAV. Cali, Colombia. 277 p.

PEDRAZA, G.; CHARÁ, J.; CONDE, N.; GIRALDO, S.; GIRALDO, L.; (2002). Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Cali. Disponible en Internet: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/1/Pedr141.htm> [Consultada Agosto 2003]*

Pérez, I., Garfí, M., Cadena, E. & Ferrer, I. (2014). Technical, economic and environmental assessment of household biogas digesters for rural communities. *Renewable Energy*, 62,313-318.

Pinzón A., M.C. (2004). *Biblioteca ilustrada del campo: Abonos orgánicos biodigestores-biopreparados-humussuelos*. Editorial Enlace Cultural.

Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014: Prosperidad para todos, Tomo II. Bogotá: Colombia.

POSSO, F.; (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, Vol. 7, (1-2), pp54-73.

Raha, D., Mahanta, P. & Clarke, M. (2014). The implementation of decentralized biogas plants in Assam, NE India: The impact and effectiveness of the National Biogas and Manure Management Programme. Energy Policy, 68, 80–91.

RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo. Vol. 1, 15-23.

RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo. Vol. 1, 15-23.

RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo. Vol. 1, 15-23.

Revista TEKNOS (2014) 14(2) : pp 27–33 33 Melvin Acosta Pabuena et al.: Potencial de Uso de Biogás en Colombia

SALAMANCA TAMAYO, Jairo. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Quito: Universidad San Francisco de Quito. Facultad de Ciencias, 2009. 131 p.

Song, Z., Zhang, Ch., Yang, G Feng, Y., Ren, G. & Han, X. (2014). Comparison of biogas development from households and medium and large-scale biogas plants in rural China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33, 204–213.

Subedi, M., Matthews, R., Pogson, M., Abegaz, A., Balana, A., Oyesiku-Blakemore, J. & Smith, J. (2014). Can biogas digesters help to reduce deforestation in Africa? Biomass and Bioenergy, In press, DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.02.029.

Surendra, K.C., Takara, D., Hashimoto, A.G. & Khanal, S.K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859. DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.015

United Nations Human Settlements Programmers (UNHABITAT) 2010b. Solid Waste Management in the World Cities. State of Water and Sanitation in the World Cities. Malta. Gutenberg Press. ISBN 978-1- 84971-169-2. Recuperado de [mirror.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=2918&alt=1](http://mirror.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=2918&alt=1)

VARGAS L., L.; (1992). Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios. Tesis (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle, Santiago de Cali.

Walekhwa, P.N., Lars, D. & Mugisha, J. (2014). Economic viability of biogas energy production from family-sized digesters in Uganda. *Biomass and Bioenergy*, In press, doi: 10.1016/j.biombioe.2014.03.008

YANK, L.; MARTINA, P.; CORACE, J.; AEBERHARD, A.; (sf). Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina. Disponible en Internet: <http://arandu.org.ar/pub/digestororiginal1.pdf> [Consultada enero 2009]

Zhou, X.Z., Ou, S.L., & Huang C.I. (2011). Problems and Solutions Based on Comprehensive Utilization of Biogas. *Energy Procedia*, 5, 42–47

