

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

Título: Estudio de mezclas de residuos industriales y purín de cerdo para la producción de biogás. Caso de estudio, UEB Glucosa de Cienfuegos.

Por:

Autor: Julián E. Collazo Rodríguez

Tutor/es: Dr. C. Jesús Manuel Guzmán China

Cienfuegos, 2015

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres por darme la oportunidad de ser la persona que soy y a esa personita que vino al mundo y me cambio la vida para siempre, mi hijo Christopher.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento principal a mis padres es infinito. A ellos les debo todo lo que soy. Llegar hasta aquí no es un mérito mío sino de ellos por su esfuerzo, comprensión y cariño.

A mis abuelas les agradezco todo lo que hacen y han hecho por mí, por el cariño brindado en todo este tiempo y gracias a ustedes siempre tuve un lugar para refugiarme cuando los problemas eran inmensos que era su amor incondicional. No saben cuánto les agradezco eso.

A toda mi familia en general por el apoyo brindado en todos estos años. Gracias.

A mis compañeros de aula por haberme soportado estos cinco inolvidables años de mi vida.

A mis amigos más allegados por apoyarme cuando más lo necesitaba a pesar de las dificultades y los malos momentos. Gracias por quedarse a mi lado y darme consejos en los malos momentos y en los buenos porque no.

Quiero agradecer también a una persona que me apoyo muchísimo en terminar mi carrera y que me dio fuerzas para que no me diera por vencido, a Yaní va dedicado esto y que sepas que siempre podrás contar conmigo y ojalá la vida te sonría siempre como tú te lo mereces por ser una persona excepcional.

Muchas gracias a mi tutor y amigo Jesús Manuel Guzmán Chinea. Su visión y sus orientaciones han sido de gran utilidad para la realización de esta investigación.

A todos los profesores que tuvieron que ver con mi desarrollo como ingeniero, a Laimí y la China por facilitarnos el laboratorio y el refrigerador para guardar las muestras.

En fin, a todos que de una forma u otra se preocuparon y me ayudaron en la realización de este trabajo. MUCHAS GRACIAS.

SINTESIS

Con la presente investigación “Estudio de mezclas de residuos industriales y purín de cerdo para producción de biogás. Caso de estudio, UEB de Glucosa Cienfuegos” se pretende hacer un análisis de las mezclas de residuos industriales y purín de cerdo en la provincia de Cienfuegos, desde el punto de vista de su composición, características, ventajas de utilización, las consecuencias que traen estos residuos para el medio ambiente y las posibles aplicaciones que puedan tener para la creación de plantas de biogás que además de ser económicamente rentable, tienen el objetivo principal de generar electricidad como un sistema alternativo al consumo de los combustibles derivados del petróleo; como fuente de calor para la cocción de los alimentos en sustitución de la leña, el queroseno ,el gas licuado, etc., así como también puede desempeñar la función de combustible en motores de combustión interna adaptados entre otras aplicaciones y de esta manera eliminar los mosquitos, las moscas y roedores portadores de plagas y enfermedades producidas por estos desechos en nuestra localidad, el mal olor y de forma general promover la utilización de la energía renovable como la fuente primordial de energía en el país.

Tabla de contenido	Pág.
INTRODUCCIÓN	7
Capítulo I: Marco Teórico de la Investigación.	10
1.1 Generación de residuos.	10
1.1.1 Residuos	11
1.1.2 Residuos Industriales.....	11
1.1.3 Tipos de residuos industriales generados.	12
1.2 Purines de Cerdos	13
1.3 Digestión Anaerobia	14
1.3.1 Bioquímica de la Digestión Anaerobia	16
1.3.2 Variables que influyen en el proceso anaerobio.	17
1.4 Plantas de biogás.	21
1.4.1 Tipo de digestores y reactores para producir biogás.	22
1.4.2 Bondades que brinda la planta de biogás.	26
1.5 Empleo de la tecnología de planta de biogás.	28
1.5.1 A nivel mundial.	29
1.5.2 En Cuba.....	32
1.5.3 En la provincia de Cienfuegos.....	33
1.6 Uso del biogás como fuente de energía eléctrica.	35
Conclusiones Parciales	36
Capítulo II: Metodología utilizada para la Investigación.	37
2.1. Caracterización de la Empresa Glucosa Cienfuegos.	37
2.1.1 Descripción de la Empresa de Glucosa Cienfuegos.	37
2.1.2 Planeamientos estratégicos de la Empresa Glucosa Cienfuegos. Año 2010.	41
2.2 Estudio experimental	43
2.3 Materiales utilizados	43
2.4 Procedimiento de trabajo	46
2.4.1 Recolección de las muestras	47
2.4.2 Preparación de los sustratos	49
2.4.3 Relación en la mezcla para determinar el por ciento de sólidos.	50
2.5 Diseño de los Experimentos	51
2.6 Análisis de laboratorio utilizados.	54

2.7 Metodología de cálculos para la producción de biogás y su proporción en metano.	56
2.7.1 Metodología para calcular la relación carbono/nitrógeno (C / N) de una mezcla de materias primas.....	60
Conclusiones Parciales.....	62
Capítulo III: Resultados y discusión.....	63
3.1 Resultados de los experimentos.....	63
3.2 Análisis de los resultados.	65
3.3 Evaluación técnica y económica por el uso de mezclas de residuos industriales.	69
3.3.1 Evaluación económica de la investigación.	70
3.4 Impacto ambiental.....	71
Conclusiones Parciales.....	73
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXOS.....	79

INTRODUCCIÓN

El medio ambiente es un sistema complejo y dinámico de interrelaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales, que evoluciona a través del proceso histórico de la sociedad, abarca la naturaleza, la sociedad, el Patrimonio histórico-cultural, lo creado por la humanidad, la propia humanidad, y como elemento de gran importancia las relaciones sociales y la cultura. Las ciudades y las personas tenemos ante nosotros el importante deber de velar por la sostenibilidad en el amplio sentido de la palabra. La protección del medio ambiente, de los recursos, y el bienestar de los ciudadanos y ciudadanas se nos aparecen unidos en una sola línea argumental (Castillo, Tecanhuey, & Amaro, 2013). Existen muchos contaminantes provenientes de fuentes naturales, pero es la contaminación proveniente de la actividad industrial, agrícola, urbana, y comercial, la responsable de la mayoría de los problemas de degradación ambiental. El rápido crecimiento industrial del mundo en el último siglo, sobre todo en los países desarrollados, ha producido cada vez mayores cantidades de sustancias contaminantes. La actividad industrial es una fuente de generación de riqueza, pero al mismo tiempo supone grandes y graves impactos para el medio ambiente como son el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, la pérdida de biodiversidad o la contaminación del aire, el suelo o el agua. En este contexto es imprescindible la correcta gestión de los residuos en los centros de trabajo que, además de ser una obligación legal, contribuirá a disminuir los impactos ambientales de los procesos productivos. (Alonso., 2012)

Ante un entorno dinámico y competitivo, el desarrollo industrial actual, se encamina cada vez más hacia el Desarrollo Sostenible, exigiendo así, desde el punto de vista productivo el uso de tecnologías más limpias o alternativas que mejoren la calidad de los procesos. El uso de procedimientos para el manejo de residuos industriales y purín de cerdos es una variante que permite lograr resultados satisfactorios en los Sistemas de Tratamiento de Residuales, mejorando la eficiencia del sistema, mitigando el efecto de los contaminantes sobre los ecosistemas y la calidad de vida de las personas. (Sabata, Torras, Elies, & Martell, 2005)

Como es conocido en los últimos años, las fuentes alternativas de energía han ido adquiriendo una importancia cada vez mayor en Cuba, lo cual, básicamente por razones energéticas y ambientales, también es tendencia mundial. El déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular Cuba, tiene una situación cada vez menos favorable. Las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles, electricidad, etc.) no parecen ser la solución sino a muy largo plazo. (Contreras, 2006)

Este problema plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos industriales (Compuestos de metales pesados, sales cianuradas, aceites, grasas industriales, compuestos orgánicos halogenados, compuestos orgánicos no halogenados, residuos de industrias del curtido, hidrocarburos, etc.) los cuales unidos a los residuos orgánicos como el purín de cerdo pueden ser usados como simple medio para producir energía por medio de plantas de biogás. De esta manera se mejorará la vida de los campesinos, se incrementará la producción agrícola y se preservará el medio ambiente.

La situación descrita previamente nos lleva a formularnos el siguiente **problema científico**:

¿Cómo beneficiaría a la economía y al medio ambiente la creación de plantas de tratamiento para la producción de biogás a partir del estudio de mezclas de residuos industriales y purín de cerdo en la provincia de Cienfuegos?

Avanzamos entonces a la siguiente **Hipótesis**:

La evaluación de residuales industriales y sus mezclas para la obtención de biogás como energía limpia a través de reactores como sistemas de tratamiento mejoraran las condiciones ambientales en Cienfuegos, con beneficios económico y social.

El **objetivo general** de esta investigación es:

Realizar un estudio para el uso de mezclas de residuos industriales y purín de cerdo en la producción de biogás.

Siendo **objetivos específicos:**

1. Llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre mezclas de residuos industriales y purín de cerdos, incluyendo experiencias existentes.
2. Diseñar una propuesta metodológica para la investigación de las diferentes mezclas estudiadas.
3. Caracterizar las mezclas de residuales a partir de su tratamiento en reactores a escala de laboratorio.
4. Evaluar la producción de biogás y su proporción en metano de los tratamientos de cada experimento.

Resultados Esperados

- Caracterización de los tratamientos de cada experimento, obteniéndose los resultados de laboratorio.
- Evaluación de la producción de biogás y proporción de metano de los tratamientos de cada experimento.
- Evaluación del impacto de esta nueva forma de tratamiento desde los puntos de vista económico, social y ambiental.

Capítulo I: Marco Teórico de la Investigación.

1.1 Generación de residuos.

La generación de residuos en los procesos productivos debemos interpretarla como un síntoma de ineficacia de un sistema productivo en el que se pierden gran cantidad de materiales que pasan a ser residuos en forma de emisiones, vertidos o desechos.

El modelo de producción actual necesita de importantes aportaciones de materias primas y energía, recursos que en muchos casos son escasos o están próximos a agotarse. Este modelo de producción lineal no cierra los ciclos productivos, como sí hace la naturaleza, en la que no hay residuos ya que todos los materiales se reutilizan y forman parte de nuevos procesos.(Gómez, 2010)

Se vive en un modelo de producción que genera más residuos en cada una de sus fases (extracción de materias primas, transporte, fabricación, distribución y consumo) que la cantidad de bienes que produce. Así, podemos afirmar que por cada tonelada de residuos que se genera en el momento del consumo de cualquier producto, se han producido 20 toneladas de residuos en el proceso de extracción de las materias primas necesarias para su producción y 5 toneladas de residuos durante el proceso de fabricación.

Por tanto, este modelo no respeta los ciclos de la naturaleza ni tiene en cuenta sus límites físicos y ambientales, teniendo importantes consecuencias en el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación del aire, del agua y del suelo.

En muchos casos el uso de sustancias tóxicas en los procesos productivos, que finalmente pasarán a formar parte de los productos y de los residuos que se generen, pone en riesgo la salud de los trabajadores.(L. Lopez, 2011)

Los residuos y su minimización también son una oportunidad para las empresas para mejorar el funcionamiento de sus procesos productivos, reducir su toxicidad y los costes de su gestión.

Por tanto, una correcta gestión de los residuos no sólo servirá a las empresas para cumplir con sus obligaciones legales, sino también será una oportunidad de mejora ambiental y de su imagen corporativa de cara a sus clientes.(L. Lopez, 2011)

Si se pretende alcanzar un desarrollo sostenible de la industria no sólo se tendrá que realizar una correcta gestión de los residuos. Será necesario, además, que el desarrollo industrial se oriente hacia la producción limpia, aumentando la eficiencia en el uso de recursos naturales, fomentando la prevención en la generación de residuos a través del ecodiseño de los productos y los procesos productivos, priorizando la reutilización (Ver Anexo A) y el reciclaje, con el objetivo de cerrar los ciclos productivos.(Xinhua, 2014)

1.1.1 Residuos

Se considera como residuos aquellos materiales, sustancias u objetos sobrantes de cualquier operación, actividad o proceso productivo tanto en sus procesos intermedios de producción o en su consumo final. Estos materiales pueden estar en cualquier estado físico (sólido, líquido o gaseoso) y pueden ser liberados a cualquier medio receptor (agua, suelo, atmósfera). Por tanto, esta definición de residuo no sólo incluye los residuos sólidos, sino también los efluentes líquidos y las emisiones gaseosas.(Gómez, 2010)

Los residuos son los materiales sobrantes de cualquier actividad y por tanto, en el caso de los procesos productivos, reflejan una falta de rendimiento o ineficacia del proceso y expresan una incapacidad de cerrar los ciclos productivos.(Gómez, 2010)

1.1.2 Residuos Industriales

Los residuos industriales son aquellos que se generan en las actividades industriales, procedentes de la extracción, explotación, producción o fabricación, transformación, almacenamiento y distribución de los productos y que a su vez podemos clasificar en cuatro grandes grupos: residuos peligrosos, residuos industriales no peligrosos, residuos asimilables a urbanos y residuos inertes.(Gómez, 2010)

1.1.3 Tipos de residuos industriales generados.

- **Residuos peligrosos**

Son aquellos que contienen sustancias nocivas que representan un riesgo para la salud humana o el medio ambiente. En todo caso, un material o producto desechado debe ser tratado como un residuo peligroso siempre que presente alguna de las siguientes características: explosivo, comburente, inflamable, irritante, nocivo, tóxico, carcinógeno, infeccioso, mutagénico o ecotóxico.(M. L. Torres, Lloréns, & Delgado., 2004)

- **Residuos industriales no peligrosos**

Son aquellos que no presentan ninguna de las características de peligrosidad anteriormente mencionadas, aunque no puedan considerarse como inertes, como por ejemplo los lodos de depuradora que no contengan sustancias peligrosas.(Gómez, 2010)

- **Residuos asimilables a urbanos**

Son aquellos residuos que, aunque se producen en la industria, tienen una composición similar a la de los residuos urbanos. Se definen los residuos urbanos como los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.(Gómez, 2010)

- **Residuos inertes**

Se definen los residuos inertes como aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana.(Gómez, 2010)

1.2 Purines de Cerdos

Los purines son cualquiera de los residuos de origen orgánico, como aguas residuales y restos de vegetales, cosechas, semillas, concentraciones de animales muertos, pesca, comida, excrementos sólidos o líquidos, o mezcla de ellos, con capacidad de fermentar o fermentados que tienen impacto medioambiental. Tradicionalmente se han usado para producir abono y compost. (X. Flotats, 2001). Generalmente residuos resultado de una mezcla de orina, la parte líquida que rezuma de todo tipo de estiércoles de animales y usualmente agua que se forma al reunir los desechos de animales domésticos. Junto a otros materiales orgánicos entre los que destacan los residuos sólidos urbanos, los purines tienen utilidad para la producción de compost. (Ver Anexo B) Los purines de cerdos de criadero son los más conocidos ya que son muy contaminantes, sobre todo debido a la concentración porcina en diversos puntos tienen un contenido aproximado (en proporciones de kg por tonelada) de 2 kg de nitrógeno, 0,5 de fósforo y 3 de potasio. (Pedreño, Herrero, Gómez, & Mataix, 1995) Los purines forman parte de la biomasa residual húmeda. En la actualidad se está estudiando el reciclaje de los purines de cerdos para diversos usos, entre ellos para la obtención de metano, para su uso como abono o bien incluso mejorando sus propiedades con el objetivo de poder depurar el agua residual de purines, entre otros usos los purines sirven para producir energía. (M. B. Lopez & Paredes., 2005)

La problemática en la gestión de estos purines se plantea sobre todo en zonas de elevada concentración ganadera, siendo objeto de la atención pública. Si bien se han propuesto distintas alternativas de gestión del purín enfocadas a su tratamiento, hasta ahora todas ellas presentan inconvenientes sin resolver, ya sean de viabilidad medioambiental o económica. Por el contrario, la aplicación del purín como fertilizante al suelo cultivado, en dosis agronómicas y medioambientalmente adecuadas es el método más económico para gestionar el purín y constituye además uno de los mejores ejemplos de reciclaje de nutrientes, en el sistema suelo-cadena trófica. Cuando el purín es utilizado adecuadamente como fertilizante, los costes de su aplicación pueden recuperarse teniendo en cuenta el ahorro de abono mineral que supone la aplicación del purín. (Daudén, 2012)

1.3 Digestión Anaerobia

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, y el gas natural metano) de los yacimientos petrolíferos así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas. (Macías, 2013)

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia. (Herrera, Animal, & Sobalvarro, 2005)

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).(Reyes, 2012)

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañado por importantes logros de la investigación aplicada, obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes. (Reyes, 2012)

Digestión anaerobia			
Tratamiento de aguas y residuos industriales	Aplicación Rural	Tratamiento de basuras; Rellenos sanitarios	Tratamiento de líquidos cloacales

Objetivos Buscados

Estabilizar efluentes. Higiene.	Producción de energía.	Protección ambiental.	Higiene y protección ambiental.
Producción de energía.	Fertilizantes orgánicos.	Producción de energía.	Producción de energía.
Alimentación animal.			

Fig. 1.1 Ventajas del uso del tratamiento anaerobio.

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1 000 m³ de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20° C a 40° C), o termofílicas (más de 40° C) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.(González et al., 2010)

1.3.1 Bioquímica de la Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de cuatro fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato interviniendo diversas poblaciones de bacterias.

Se identifican cinco grandes poblaciones bacterianas, las cuales actúan catalizando cuatro procesos consecutivos: hidrólisis, acidogénesis (formación de ácidos), acetogénesis (formación de ácido acético) y metanogénesis (formación de metano), constituyendo 4 etapas (ver Fig. 2).(X. Flotats, 2001)

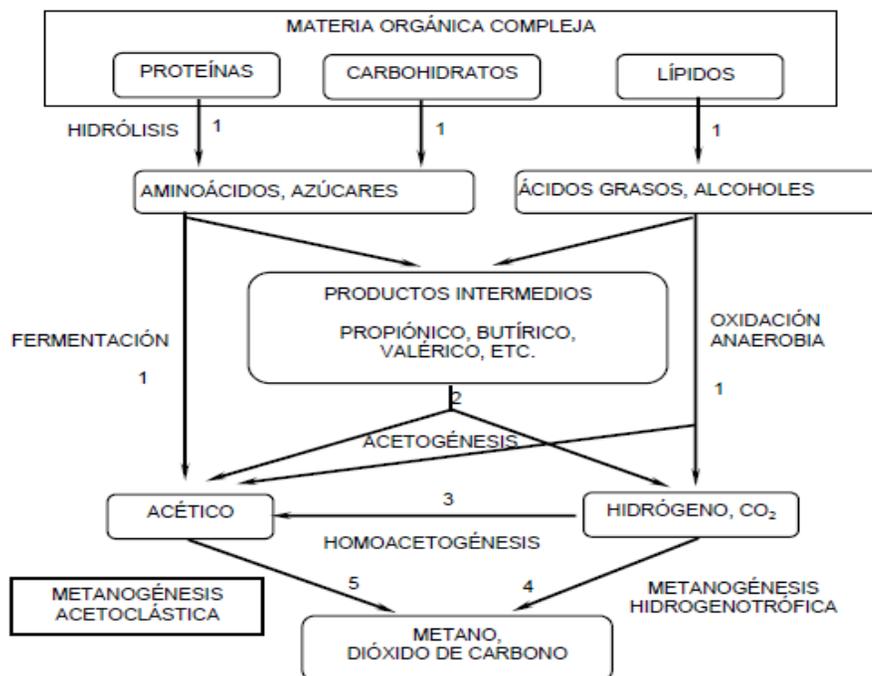


Fig. 1.2 Proceso bioquímico de la Digestión Anaerobia

1. Etapa hidrolítica

Los compuestos orgánicos complejos, como los lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son despolimerizados, por acción de enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, etc. Se trata de un proceso enzimático extracelular, y las bacterias responsables de su generación son las bacterias hidrolítico-acidogénicas.(X. Flotats, 2001)

2. Etapa acidogénica

Los compuestos solubles obtenidos de la etapa anterior se transforman en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), esto es, ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico, principalmente. Bacterias acidogénicas comúnmente encontradas en digestores.(X. Flotats, 2001)

3. Etapa acetogénica

Los compuestos intermedios son transformados por las bacterias acetogénicas. Como principales productos se obtiene ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono. El metabolismo acetogénico es muy dependiente de las concentraciones de estos productos, tal como se comprueba más adelante para el ácido butírico. Los ácidos valérico y butírico son descompuestos por las mismas especies. (X. Flotats, 2001)

4. Etapa metanogénica

Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético hidrogeno y dióxido de carbono son transformados a CH_4 y CO_2 . Se distinguen dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que consumen hidrogeno (metanogénicas hidrogenófilas). La principal vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general. (X. Flotats, 2001)

1.3.2 Variables que influyen en el proceso anaerobio.

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores.

Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa (Ver Anexo C). Por lo tanto nos limitaremos a dar una valoración cualitativa.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes: el tipo de sustrato (nutrientes disponibles); la temperatura del sustrato; el tiempo de retención hidráulico; el nivel de acidez (pH); la relación Carbono/Nitrógeno; la concentración del sustrato; y la presencia de compuestos inhibidores del proceso.(Reyes, 2012)

Tipo de materia prima:

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). (Hernández, González, Reyes, & Ortiz, 2013)

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.(Castillo et al., 2013)

Temperatura del sustrato:

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° C a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70° C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas (Ver Tabla I).(Amador & Pagès, 2008)

Tabla 1.1 Clasificación según el rango de temperaturas de las bacterias.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
Psicrofílicas	menos de 20° C	+ - 2°C/ hora
Mesofílicas	entre 20° C y 40° C	+ - 1°C/ hora
Termofílicas	más de 40° C	+ - 0,5°C/ hora

Tiempos de retención:

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los sistemas discontinuos donde el tiempo de retención coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor.

De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo.(Villegas, 2011)

La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

Valor de acidez (pH):

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3$) y Amonio -Amoníaco ($\text{NH}_4\text{-NH}_3$) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

Las desviaciones de los valores normales es indicativo de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la faz ácida y la metanogénica provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso.(L. Lopez, 2011)

Relación Carbono-Nitrógeno (C / N):

Los microbios siempre consumen estos elementos en determinada proporción, medidos por la relación carbono-nitrógeno (C / N) que contiene la materia orgánica. Existen muchos criterios en lo referente a esta relación, pero se reconoce en general como aceptable una relación C / N de 20-30:1.(Hernández et al., 2013)

En general las materias primas ricas en carbono producen más gas que las ricas en nitrógeno, así mismo es más rápida la producción de gas a partir de materias primas nitrogenadas (excretas), que las ricas en carbono (residuos agrícolas). (Ver Anexo D)

Contenido de sólidos:

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos.

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 7 % y el 12 %.(Carrasco, Soteras, Pueyo, & Viteri, 2007)

Inhibidores:

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas.(Guzmán., 2015)

1.4 Plantas de biogás.

El biogás se genera creando artificialmente un proceso biológico consistente en la digestión anaeróbica (sin oxígeno), por medio de unas bacterias específicas, de materia orgánica.(Ver Anexo E) Del resultado de la digestión se obtiene un residuo orgánico (biofertilizante) y biogás.(Hilbert, 2010)

El biofertilizante no ha perdido ninguna de sus cualidades iniciales como abono y el biogás, mezcla de varios gases inflamables formada principalmente por metano y dióxido de carbono, nos permite aprovechar su poder energético mediante la tecnología de la cogeneración, generando energía térmica (calor) y energía eléctrica.(González et al., 2010)

La tecnología para generar el biogás y explotar su energía es ampliamente empleada en los países centroeuropeos. Una forma verdaderamente profesional que contribuya a que la planta de biogás sea un elemento integrador en los esquemas de desarrollo sostenibles lo constituye el exigir que su elección y construcción se realicen con la calidad y el rigor que establece el conocimiento técnico de las mismas tomando en consideración los tres principios básicos del propio desarrollo sustentable, es decir, que sea:

- Ecológicamente viable.
- Económicamente rentable.
- Social y humanamente justa. (García., 2015)

Los elementos característicos de una planta de biogás son los sustratos, el digestor y la unidad de cogeneración. Los sustratos son la materia orgánica que hace falta introducir dentro del digestor para crear el ecosistema idóneo para el cultivo de las bacterias que realizarán la digestión y por tanto, que generarán el biogás.(González et al., 2010)

Estos sustratos pueden ser de origen y tipo de lo más variado, si bien los más usuales son: lodos de flotación, residuos de mataderos, herbáceos, entre otros.

Para obtener una mayor producción de biogás se puede realizar una codigestión, consistente en mezclar estos sustratos, de manera que se favorezca la actividad de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

Una vez está dispuesta la mezcla dentro del digester el proceso consiste en ir mezclando y aportando sustratos y nutrientes continuamente hasta optimizar la producción de biogás.(Savón, Pérez, Abreu, & Brown, 2003)

El digester es un depósito cilíndrico de acero inoxidable, debidamente aislado, en el que hay unas hélices que permiten la mezcla de los nutrientes. La parte superior del digester se cubre con unas lonas que permiten la expansión y almacenamiento del biogás.

Este biogás se conduce hacia la unidad de cogeneración formada por un motor de combustión interna acoplado a un generador donde se transforma la energía rotativa en energía eléctrica y térmica.(Lorenzo, 2014)

La implantación de este modelo de negocio supone ser un gestor de residuos y un productor de energía eléctrica en régimen especial, además de poder aprovechar la energía térmica generada y de no perder las cualidades del biofertilizante tan imprescindible para los cultivos. Es una implantación de negocio de larga duración que aporta una excelente rentabilidad y permite una diversificación en la fuente de ingresos.(M. B. Lopez & Paredes., 2005)

1.4.1 Tipo de digestores y reactores para producir biogás.

Las plantas para la producción de biogás se pueden clasificar en:

- Discontinuas o Batch: estas se cargan una vez y se vacían por completo después de un determinado tiempo de retención; el abastecimiento continuo de gas con estas plantas se logra con depósitos de gas o con varios digestores funcionando a la vez.(Hilbert, 2010)

- Continuas: estas se cargan y descargan en forma periódica, por lo general diariamente, el material de fermentación debe ser fluido y uniforme. Las plantas continuas son apropiadas para viviendas rurales donde el mantenimiento necesario se integra a la faena diaria y la producción de gas es mayor y uniforme. (Hilbert, 2010)

Estas últimas también tienen la ventaja de adaptarse al uso industrial, por ejemplo en criaderos donde se deben tratar grandes cantidades de estiércol y en donde no importa tanto la producción de gas como el tratamiento de la patogenicidad de estos desechos. También son propicias, en este caso, para la automatización. (M. L. Torres et al., 2004)

Entre las instalaciones más usadas podemos encontrar las de campana flotante (Fig. 1.3), las de cúpulas fijas (Fig. 1.4) y las de geomembrana de PVC (Fig. 1.5). Estas últimas tienen la ventaja de soportar fluctuaciones en el consumo de gas manteniendo la presión constante.

Planta de biogás de campana flotante (Fig. 1.3): Este digestor es en forma de bóveda esférica (o cilíndrica) y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la carga de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. La campana además de subir y bajar, es libre de girar, así puede mover la capa que eventualmente pueda flotar en la superficie de la carga de fermentación. Para su construcción se usa comúnmente ladrillos, cemento, arena y grava; para la campana flotante, lámina de acero. (González et al., 2010) (Ver Anexo F)

Planta de biogás de cúpula fija (Fig. 1.4): Consiste de una cámara de gas construida de ladrillos, piedra o concreto la cual permanece inmóvil y fija. Tanto el tope como la base del reactor son semiesféricos y están unidos por lados rectos. La estructura interna es sellada por varias capas para aislar el gas. El digestor es alimentado por un tubo de carga que es recto y finaliza en la mitad de nivel dentro del digestor. (Ver Anexo F)

Hay un tapón manual en la parte superior del digestor para facilitar su limpieza, y el conducto de salida del gas sale de la cubierta. El gas producido durante el proceso es almacenado bajo el domo y desplaza algunos de los contenidos del digestor a la cámara del efluente. Esto crea fuerzas estructurales altas y esta es la razón por la cual el reactor tiene formas semiesféricas en el tope y en la base. Se recomienda que la construcción sea bajo tierra en suelos estables y firmes. Es el tipo de digestor más común en países en vía de desarrollo. (González et al., 2010)

Digestor de balón de plástico (Fig. 1.5): Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, polietileno o geomembrana de PVC, completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75 % de volumen) se rellena con la carga, mientras en la parte superior de la bolsa (25 %) se almacena el gas. Los tubos de entrada y salida están sujetos directamente a la pared de la bolsa. (Ver Anexo F) Aunque este digestor actúa como un reactor de tapón de flujo, el gas puede almacenarse en una bolsa separada. El material plástico o de caucho para la planta, tiene que ser elegido con cuidado: resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. Se puede recomendar para todos aquellos sitios donde no haya peligro de que se dañe la pared de la bolsa y donde predominen temperaturas altas y constantes. (González et al., 2010)

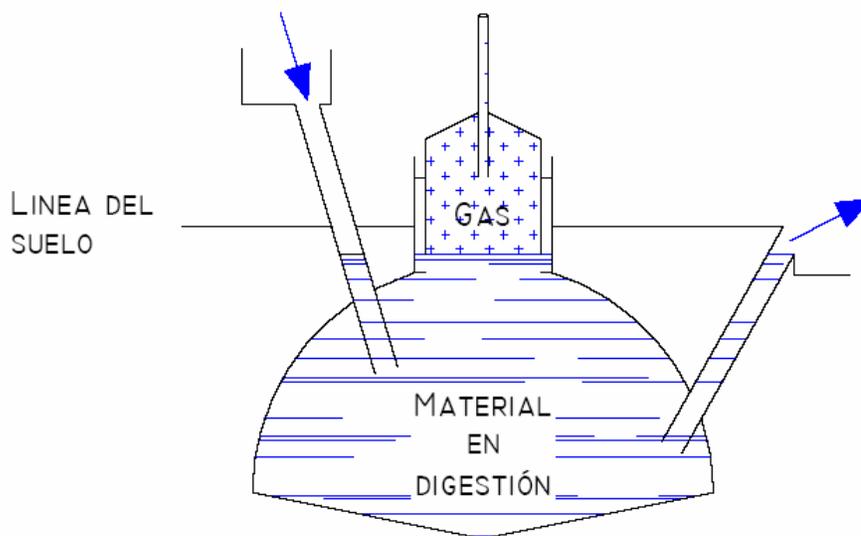


Fig. 1.3 Planta de biogás de campana flotante.

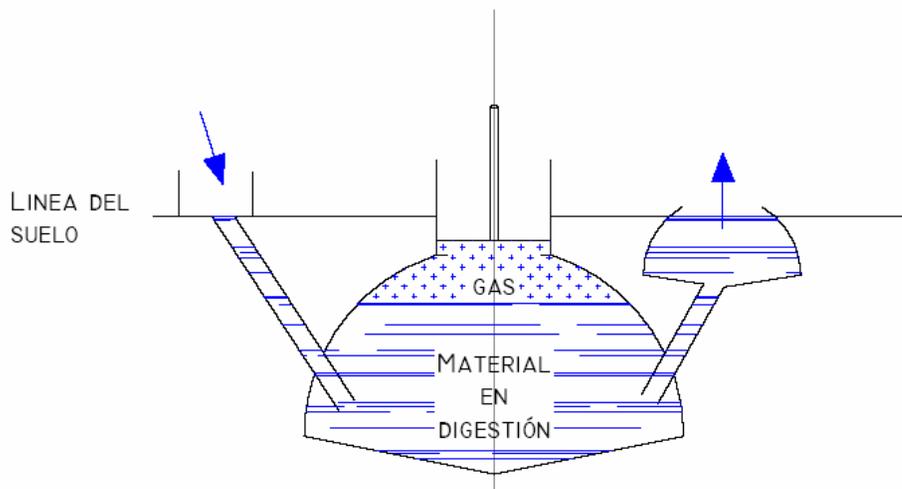
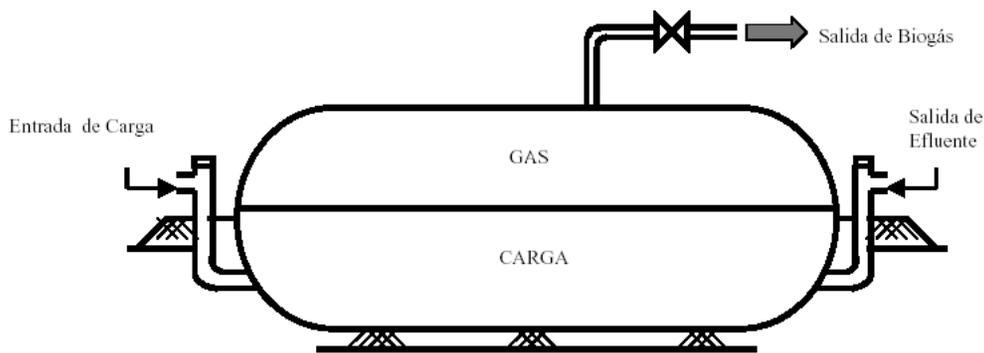


Fig. 1.4 Planta de biogás de cúpula fija



Digestor de balón de plástico.

Fig. 1.5 Digestor de balón plástico

El diseño y la construcción de la planta, así como los materiales a utilizar, deberán elegirse cuidadosamente en función de la producción deseada, las características del suelo, el tipo de carga y la inversión que se desea hacer. Se debe tener en cuenta también las características climáticas del lugar, pues como se indicó previamente, la digestión anaerobia es muy sensible a los cambios de temperatura y necesita de por lo menos 30°C para tener una producción aceptable.(Daudén, 2012) (Ver Anexo G)

Con respecto a este tema, en zonas frías de Europa, la producción de biogás disminuye hasta un 50 % en el invierno, por lo que se ha optado por la calefacción de las plantas, requiriendo esta, más o menos un 30 % de la producción de biogás. Hasta ahora no se ha desarrollado un método totalmente eficiente de calefacción en lo que se refiere a instalaciones sencillas. El proceso de digestión en sí, no es exotérmico, por lo que se debe aportar calor para mantener su temperatura. La temperatura a que se lleva a cabo la digestión hace variar los tiempos de retención del cieno.(Villegas, 2011)

1.4.2 Bondades que brinda la planta de biogás.

La obtención de biogás a través de procesos de digestión anaeróbica pueden proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente de los países subdesarrollados, siendo ventajoso debido a que:

- Proporcionan combustible (biogás) para suplir las necesidades energéticas rurales, incrementando la producción de energía renovable (calor, luz, electricidad) y de bajo costo.
- Reducen la contaminación ambiental al convertir en residuos útiles las excretas de origen animal, aumentando la protección del suelo, de las fuentes de agua, de la pureza del aire y del bosque. Dichas excretas contienen microorganismos patógenos, larvas, huevos, pupas de invertebrados que de otro modo podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas.(Lorenzo, 2014)
- Se produce abono orgánico (bio-abono) con un contenido mineral similar al de las excretas frescas, pero de mejor calidad nutricional para las plantas y para la producción de fitoplancton. Este último es utilizado para la alimentación de peces y crustáceos.(Pérez-Cerdá, 2011)

- Mediante la utilización del efluente como bio-abono se reduce el uso de fertilizantes químicos, cuya producción y aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente global y local.
- Mejora las condiciones higiénicas de la casa rural y/o unidad de producción a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, los que mueren durante el proceso de biodigestión.(M. B. Lopez & Paredes., 2005)
- Contribuyen a reducir los niveles de deforestación por el menor uso de leña con fines energéticos.
- Produce beneficios micro-económicos a través de: la sustitución de energía no renovable y fertilizantes sintéticos por energía renovable y fertilizantes orgánicos; y el aumento en los ingresos debido al incremento de la productividad y producción agrícola y pecuaria.(Inés, 2008)
- Se reduce el riesgo de transmisión de enfermedades, ya que al reciclar en conjunto las excretas animales y humanas en biodigestores que operan en rangos de temperatura interna entre 30 °C y 35 °C es posible destruir hasta el 95 % de los huevos de parásitos y casi todas las bacterias y protozoarios causantes de enfermedades gastrointestinales.(Pozuelo, 2001)

Por lo tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación y el desarrollo. Sin embargo, el monto de dinero requerido para la instalación de las plantas puede ser en muchos casos prohibitivo para la población rural. Por ello, se deben concentrar los esfuerzos en desarrollar sistemas más baratos y en proveer a los interesados créditos u otras formas de financiación. (L. Lopez, 2011)

1.5 Empleo de la tecnología de planta de biogás.

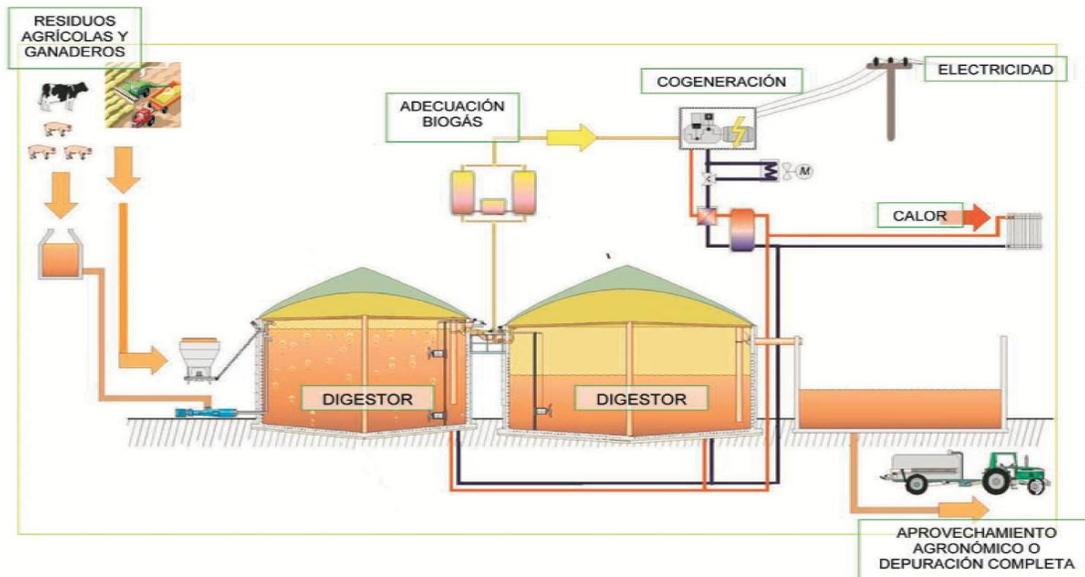


Fig. 1.6 Aprovechamiento de residuales agrícolas y ganaderos.

El alto costo de las inversiones iniciales a realizar limita en muchos países en vías de desarrollo el empleo de las energías renovables.

El biogás constituye una abundante y barata fuente de energía y de fácil obtención a partir de desechos animales, vegetales e industriales. Esta energía puede ser utilizada en numerosos procesos que tienen incidencia en la economía, no solo por la generación de energía sino también por la producción de abonos orgánicos de alta calidad. (Reyes, 2012)

Una tecnología es apropiada cuando logra imponerse. Las plantas de biogás no cuentan aún gran aceptación. Estas con plantas sencillas no han sido, probablemente, bien adaptadas.

Una planta de biogás es manejada y mantenida correctamente, si satisface las necesidades de reconocimiento y comodidad del dueño. Entonces está dispuesto a adaptarse a las necesidades de la planta de biogás. La planta de biogás es apropiada para las condiciones técnicas y posibilidades económicas de los campesinos del Tercer Mundo. La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, es una tecnología de avanzada.

Pero existe un problema de imagen, la planta de biogás está vista como para “gente pobre”, quien no quiere ser visto de esta forma no se compra una planta de biogás.(Savón et al., 2003)

El constructor deberá contribuir con una buena construcción, garantizando su buen funcionamiento, debe ser un símbolo de desarrollo social, no de precariedad. Tal vez la simplicidad de su concepto y construcción juega en contra, pero aún estamos lejos de alcanzar el tope del desarrollo de las plantas de biogás, y aún queda mucho por investigar acerca de lo que pasa dentro del digestor.(Xinhua, 2014)

1.5.1 A nivel mundial.

Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha reportado. Desde 1973 se estableció la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico Sur adjunto al Ministerio de la Agricultura. En la República Popular China la situación actual en las zonas rurales se caracteriza por una grave escasez de energía donde alrededor de 130 millones de familias carecen de combustible para uso doméstico durante tres meses del año. El 70 % de combustible para uso doméstico proviene de paja y tallos de cultivos.

El estado solo puede solucionar el 13 % de las necesidades energéticas individuales para el sector rural. Actualmente funcionan en ese país aproximadamente 6,7 millones de instalaciones de este tipo.(Siles, 2012)

En la India, país donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900, alrededor de 500 000 familiares utilizan plantas de biogás, para producir energía como sustituto del combustible doméstico.



Fig. 1.7 Ejemplo de digester hindú.

Hoy existen en la India plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda sobre la base de un precio módico por consumidor. En la localidad de Masudpur, el Estado ha construido una planta de biogás multifamiliar a partir de excrementos humanos y vacunos. El digester de alrededor de 194 m^3 de capacidad tiene una campana de acero de 85 m^3 y el biogás se envía a 12 viviendas separadas de la instalación productora en 1 km de distancia. Hoy 31 comunidades cuentan con plantas de biogás multifamiliares que trabajan eficientemente porque son atendidas con esmero.(Herrera et al., 2005)

En Europa existen alrededor de 564 instalaciones productoras de gas biológico que representan unos $269\,000 \text{ m}^3$ de digestores. De estas $174\,000 \text{ m}^3$ digestores corresponden a instalaciones industriales. El resto, $95\,000 \text{ m}^3$ de digestores corresponden a instalaciones agrícolas. Al inicio el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural.

Hoy el tratamiento de desechos municipales mediante instalaciones productoras de energía y abonos llevan el peso fundamental en el desarrollo de esta tecnología donde se trabaja fuertemente por lograr cada día una eficiencia más óptima de procesos con tiempo de retención extremadamente bajos.(González et al., 2010)

El 2,7 % de la energía renovable en Francia procede del biogás y el gobierno galo sigue impulsando mecanismos para elevar este porcentaje. El último movimiento lo ha dado el ministerio de Industria, que ha presentado un nuevo mecanismo de apoyo a la producción de gas natural (metano) a partir de los residuos urbanos, industriales y agrícolas. A partir de ahora los productores de biometano podrán inyectar su producción de gas a partir de residuos en la red de gas natural. En función del tamaño de la instalación, del tipo de unidad de producción y de la naturaleza de los residuos, los productores se beneficiarán de una tarifa de compra de entre 45 y 125 euros por megavatio/hora.(Alonso., 2012)

Con esta medida el gobierno pretende que el biogás inyectado en la red represente aproximadamente un tercio de la producción anual actual de gas natural en Francia, es decir, 270 millones de metros cúbicos por año en 2020. Además, el objetivo galo es multiplicar por cuatro la producción de electricidad a partir de residuos para el año 2020, para llegar a los 3,7 Tera vatios por año, y por siete la producción de calor y cubrir de esta forma aproximadamente una sexta parte de la energía consumida en calefacción en el país. Con todo ello, para 2020, el Gobierno habrá invertido alrededor de 500 millones de euros anuales para el sector.(Villegas, 2011)

En Estados Unidos existen algunas plantas de biogás de gran dimensión construidas para el procesamiento de excreta de vacas lecheras en la ciudad de Monroe, y Washington. Esta instalación posee un digestor de 190 m³ de capacidad comenzó a trabajar en 1977 concebida para 200 vacas estabuladas.(Contreras, 2006)

En América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países, con el propósito de extender la tecnología del biogás a las condiciones de vida e idiosincrasia de nuestros pueblos. En la mayoría de estos países aún no sanciona o penaliza el desastre ecológico diario que provocan los organismos vertedores de residuos. (Hilbert, 2010)

1.5.2 En Cuba

En Cuba las potencialidades del biogás son inmensas en las industrias azucarera, cafetalera, alimentaria y otras, pero su aprovechamiento es ínfimo.

Una aplicación más rigurosa de las regulaciones ambientales en cuanto a la disposición de los residuos, podría contribuir a que productores porcinos individuales y empresas estatales porcinas y de otros sectores, adquieran mayor interés en la tecnología del biogás.

En el país se construyeron alrededor de 550 instalaciones pequeñas de biogás en vaquerías rústicas, con el propósito de sustituir el mechón o lámpara de kerosina artesanal para el alumbrado de las instalaciones durante la jornada del ordeño manual en horas de la madrugada. Cada día estas plantas de biogás han ido abandonándose, llegando hoy a la cifra de 4 000 instalaciones y donde sólo trabajan el 70 % de ellas.(Lorenzo, 2014)



Fig. 1.8 Planta de biogás en funcionamiento.

En el sector porcino hay más de 9 000 productores que tienen convenios con el Estado. Sin embargo, solo hay unas 500 plantas de biogás para tratar los residuos. Estas producen un millón de metros cúbicos de biogás y unas 2 000 toneladas de fertilizante orgánico al año. (M. L. Torres et al., 2004) En el país hay unos dos millones de cerdos y con las excretas de cada animal se pueden obtener 0,135 metros cúbicos de «gas biológico» al día. El potencial anual total de este biocombustible ascendería, solo en el sector porcino, a casi cien millones de metros cúbicos.

Con estos se pueden cocinar 294 millones de comidas, suficientes para unas 67 000 familias o generar 170 GW/h (Gigawatt-hora) de energía eléctrica, unos cuatro días de consumo eléctrico del país.(González et al., 2010)

Fuentes especializadas del Grupo cubano de Biogás (GB) aseveran que el potencial de Cuba supera los 400 millones de metros cúbicos anuales, y si se aprovechara de manera adecuada, se podría instalar una potencia de generación eléctrica de 85 MW (Megawatt) y producir más de 700 GW (Gigawatt) por hora al año.(Hernández et al., 2013)

Así se evitaría emitir más de tres millones de toneladas de dióxido de carbono y se ahorrarían unas 190 000 toneladas de petróleo. Además, se obtendrían unas dos millones de toneladas de abono orgánico al año y se reduciría la carga contaminante.(Daudén, 2012)

1.5.3 En la provincia de Cienfuegos

En nuestra provincia hace apenas tres años solo existían 7 biodigestores para la obtención de gas a partir de la excreta del ganado porcino. Hoy casi llegan a cien y con ello esparcen los beneficios económicos, sociales y medioambientales de tales instalaciones.



Fig. 1.9 Biodigestor ubicado en Cumanayagua.

En la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) de Cumanayagua, han entendido bien este principio. Recurren a la instalación de biodigestores como complemento de las bondades tecnológicas, en aras de emplear los residuos orgánicos de manera útil.(Lorenzo, 2014)

En esa fase de perfeccionamiento del sistema se encuentra el campesino Ernesto Pentón Martínez, uno de los dueños de la finca La oriental, ubicada en el municipio cabecera, y reconocida por su sólido trabajo en la generación de ese combustible.

“Representa una gran comodidad en la cocción de los alimentos de la familia, los trabajadores de la finca y el propio alimento animal. Redujimos el consumo eléctrico a más del 80 por ciento, y entre otros beneficios, aseguramos este combustible para apoyar a los más necesitados de la comunidad”.(Lorenzo, 2014)

Los avances de esta energía renovable en el territorio parten de la creación en el 2010 del Grupo Provincial para el Desarrollo del Biogás, en el cual se incluyen, además de CUBASOLAR y la Universidad, la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), el CITMA y la Empresa Porcina de Cienfuegos.

De acuerdo con Inocente Costa Pérez, presidente de Cubasolar en la provincia, además de la generación del combustible con alto contenido de metano y la descontaminación del medio ambiente, el sistema permite utilizar el líquido restante de la generación del biogás como un bioabono rico en nutrientes.(Reyes, 2012)

“Amén del logro de nuevas incorporaciones, estamos enfrascados en perfeccionar las instalaciones existentes a partir de la construcción de filtros que logren eliminar las cargas de sulfuro de hidrógeno contenidas en la producción del biogás, pues de esta sustancia surge el ácido sulfúrico, identificado como altamente corrosivo”.

Las plantas de biogás como fuente de energía alternativa ya son utilizadas en muchos predios del territorio para la cocción de los alimentos y el alumbrado de las viviendas e instalaciones ganaderas.(Reyes, 2012)

1.6 Uso del biogás como fuente de energía eléctrica.

El desarrollo de la generación de energía eléctrica a partir del biogás es viable ya que actualmente la mayoría de los países a nivel mundial han diseñado políticas que fomentan la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.(Siles, 2012)

La energía eléctrica generada a partir de biogás es una solución que contribuye a satisfacer el crecimiento en la demanda energética del país que además evita el vertido de sustancias tóxicas al aire, al agua y a los suelos ya que elimina o disminuye el uso de combustibles fósiles.(Siles, 2012)

Actualmente, la generación de energía eléctrica parece ser la alternativa más usada para el aprovechamiento del biogás. (Ver Anexo H) La proporción de metano es la que determina el poder calorífico del biogás. Por este motivo en aquellos casos donde los volúmenes de biogás son bajos se suele optar como carburante en una caldera para obtener energía térmica.(Amador & Pagès, 2008)

Para generar energía eléctrica a través del biogás deben existir 9 etapas principales que son: Capacitación de la materia prima, preparación del residuo, descomposición anaeróbica de residuos, producción de biogás, captación del biogás, tratamiento del biogás, alimentación del combustible de la turbina, transformación de la energía química en eléctrica y la etapa de suministro de energía eléctrica a la red de usuarios.(Siles, 2012)

Para construir una planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás es necesario tener en cuenta la calidad y cantidad del biogás obtenido los cuales dependen del tipo y las características de residuos. Esta situación hace necesaria determinar el tipo de residuos que se pretende utilizar en la generación de biogás, que en esencia pueden ser desperdicios agrícolas de la región, flujos de letrinas caseras, estiércol animal, residuos domiciliarios, etc. También es necesario evaluar la ubicación geográfica de la zona y el clima, ya que de ello depende la eficiencia y rapidez de la producción de biogás.(García., 2015)

Conclusiones Parciales

- ✓ La generación de residuos es una de las principales desventajas de los procesos productivos.
- ✓ Las plantas de biogás son un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas y de países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.
- ✓ No existe una tecnología capaz de eliminar todos los residuos generados en las fábricas.
- ✓ Los purines de cerdo no cuentan con una forma de tratamiento definitiva que se pueda emplear en otras áreas.
- ✓ No existe una tecnología capaz de eliminar todos los residuos generados en las fábricas.
- ✓ La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento de residuales que genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes.
- ✓ El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas e iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un generador que produzca electricidad.

Capítulo II: Metodología utilizada para la Investigación.

2.1. Caracterización de la Empresa Glucosa Cienfuegos.

2.1.1 Descripción de la Empresa de Glucosa Cienfuegos.

La Empresa Glucosa Cienfuegos, conocida comercialmente con el nombre de GYDEMA, fue fundada en 11 de Diciembre de 1979, perteneciente al Ministro de la Industria Alimenticia (MINAL). Siendo en ese momento única de su tipo en el país y creada en ese entonces para producir Glucosa como materia prima, en la producción de caramelos y la exportación a países del Consejo de Ayuda Mutua Económica.(Chou., 2012)

Esta Empresa se puso en marcha en 1981 luego de un período inversionista que duró 6 años, con una tecnología perteneciente al área capitalista, fundamentalmente a la firma Alfa - Laval de procedencia sueca y a la DDS Kroyer de Dinamarca. La misma se construyó con el objetivo de producir diariamente 90 toneladas de Sirope de Glucosa, 9 toneladas de Gluten, 7 toneladas de Germen, 19 toneladas de Licor de Remojo y 21,5 toneladas de Forraje.

Estas producciones no se han podido alcanzar en los años que lleva de puesta en marcha, siendo la causa fundamental la falta de maíz, materia prima importada, desde Canadá, Argentina, África del Sur, Argelia y en los últimos años desde EEUU, falta de piezas de repuesto y de un mantenimiento adecuado por lo que actualmente después de más de 30 años de explotación cuenta con una capacidad instalada de un 50 % con respecto a la de diseño, produciendo diariamente 15 toneladas de Almidón de Maíz, los Siropes de Glucosa dependen de la producción a realizar, para la Glucosa Ácida 30 toneladas y Glucosa Enzimática 25 toneladas.(Chou., 2012)

Su proceso tecnológico comprende la Planta de producción de Almidón, la Planta de producción de Glucosa. Además de un sistema de facilidades auxiliares comunes como son: el sistema de generación de vapor donde se cuenta con dos calderas de tubos de fuego con una capacidad de 8 y 12 toneladas de vapor por hora respectivamente y la planta de tratamiento de residuales donde se procesan los residuales del proceso industrial más los albañales, la cual desde su concepción inicial no responde a las características de la fábrica.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama tecnológico de la planta.

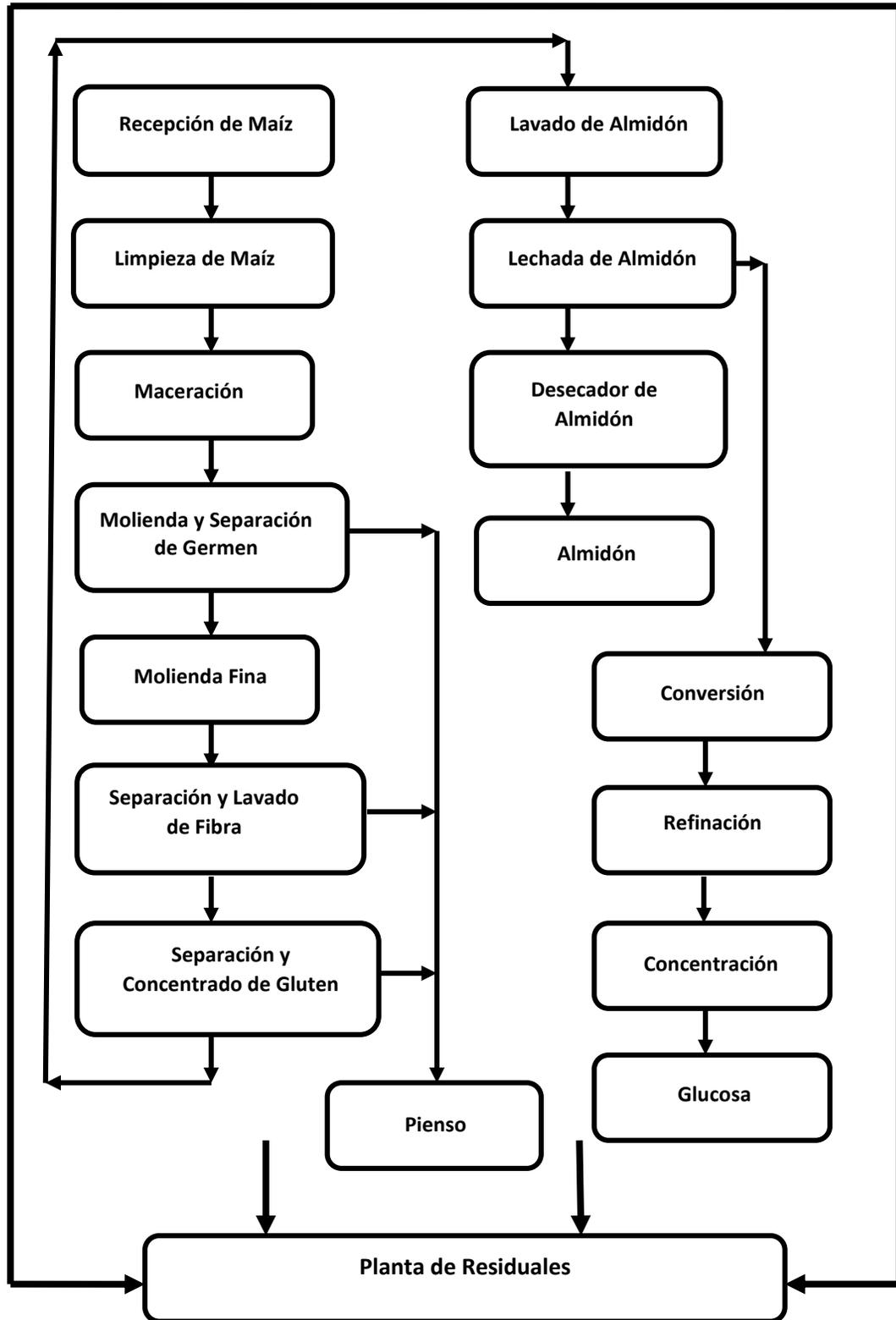


Fig. 2.1 Diagrama Tecnológico de Proceso de la Planta de Almidón y Glucosa. Empresa Glucosa Cienfuegos.

La Empresa se encuentra localizada en la Zona Industrial # 2 del Reparto Pueblo Griffo, en la provincia de Cienfuegos, exactamente en la periferia noreste de la ciudad cabecera. Limita al norte con la Empresa DIVEP, al este con la Fábrica de Hielo, Almacenes de Productos Frescos y con la Línea de Ron HRL, por el oeste con la Carpintería en Blanco y el Taller de Ómnibus Escolares, limitando al sur con el asentamiento poblacional de Pueblo Griffo.(Chou., 2012)

En la misma laboran actualmente un total de 207 trabajadores, de ellos 27 son profesionales de nivel superior, 99 técnicos medios, 23 con nivel medio superior y 58 con noveno grado, distribuidos por las diferentes áreas, garantizando con su trabajo la gran diversificación de las producciones y los servicios. Del total 173 son directos a la producción y se distribuyen por categoría ocupacional como sigue: 16 dirigentes, 11 de servicios, 54 técnicos y 126 obrero, como se muestra en el gráfico 2.1. (Chou., 2012)

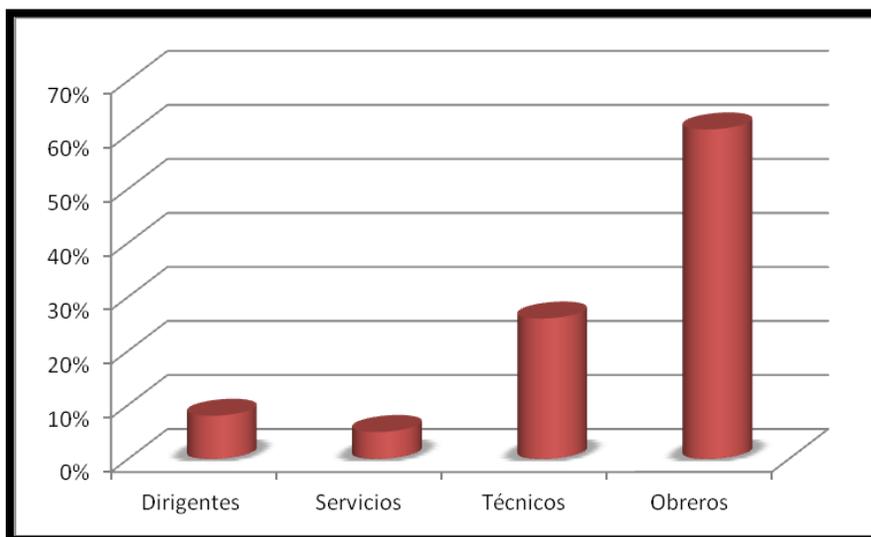


Gráfico 2.1 Distribución de trabajadores por categoría ocupacional.

La Empresa en los últimos años ha superado los planes económicos, manteniendo una ganancia por encima de la planificada, observándose un sobre cumplimiento de 115,4 % los planes de la producción bruta. En la tabla 2.1 se muestra un resumen de los principales indicadores técnico - económicos de la Empresa para el Año 2010.(Sánchez-León & Cruz-Virosa, 2012)

Tabla 2.1 Indicadores Técnicos – Económicos de la Empresa Glucosa Cienfuegos.

INDICADORES	UM	PLAN 2010	REAL 2010	% CUMPLIMIENTO
Producción Bruta	MP	6 172,2	7 123,1	115,4
Costo Producción Bruta	MP	5 636,5	7 051,9	125,1
Costo / Peso Producción Bruta	Pesos	0,91	0,99	108,4
Producción Mercantil	MP	5 861,9	7 014,0	119,7
Costo Producción Mercantil	MP	5 266,1	6 943,8	131,9
Costo / Peso Producción Mercantil	Pesos	0,90	0,99	110,2
Utilidad del periodo	MP	411,7	425,0	103,2
Fondo de salario	MP	1 337,2	1 158,0	86,6
Promedio de trabajadores	U	210,0	201,0	95,7
Salario Medio	Pesos	6 368,0	5 761,0	90,5
Productividad	Pesos	4 953,0	6 732,0	135,9
Correlación Salario Medio/Productividad	Pesos	0,81	0,67	82,2
Liquidez Inmediata	Pesos	---	0,75	---

Fuente: Informes Económicos Empresa Glucosa Cienfuegos. Departamento Económico. Año 2010.

2.1.2 Planeamientos estratégicos de la Empresa Glucosa Cienfuegos. Año 2010.

Entre los planeamientos estratégicos de la empresa para el 2010 están: (Cuba. Ministerio de la Azúcar, 2010)

❖ Misión.

Elaborar materias primas y materiales para diferentes procesos industriales y productos alimenticios, en una amplia gama de surtidos para la alimentación humana y animal, con la mejor calidad y eficiencia, garantizando la plena satisfacción de nuestros clientes.

❖ Visión.

Somos una empresa próspera, diversificada, líder en el mercado nacional y competitivo en el mercado internacional.

❖ Objeto Social: Su objeto social consiste en:

- Producir, transportar y comercializar de forma mayorista productos alimenticios derivados del maíz tales como sirope de glucosa, almidón de maíz, aceite de consumo humano, mezclas secas, concentrados de frutas y vegetales, siropes y refrescos y alimento animal en pesos moneda nacional y pesos cubanos convertibles.
- Producir y comercializar de forma mayorista equipos, partes, piezas y accesorios de metal y goma fundamentalmente para la industria de conserva y lácteos en pesos moneda nacional y pesos cubanos convertibles.
- Producir y comercializar de forma mayorista implementos deportivos al Instituto Nacional de Deportes, Educación Física y Recreación en pesos moneda nacional.
- Brindar servicios de alquiler de transportación especializado y de carga en pesos moneda nacional.
- Brindar servicios personales, de reparación de enseres menores, de transporte de personal y alimentación a sus trabajadores en pesos moneda nacional.
- Ofrecer servicios de reparación y mantenimientos eléctricos, de instrumentación a equipos automáticos, informáticos y de comunicación a entidades en pesos moneda nacional.

- Producir y comercializar de forma mayorista ganado menor y de forma minorista a sus trabajadores productos agropecuarios procedentes del autoconsumo en pesos moneda nacional.

Caracterización del residual líquido de Glucosa (agua de maceración).

En la tabla 2.2 se presentan los resultados de las mediciones realizadas en el laboratorio en cada punto de muestreo, los valores establecidos por la NC 27:1999, las mediciones en los puntos 1 y 2, la carga aportada a la Bahía de Cienfuegos, las razones punto 1: punto 2, punto 1: LMPP y punto 2: LMPP. (Chou., 2012)

Tabla 2.2 Caracterización del agua de maceración.

Variable medida	Punto 1	Carga kg/día	Punto 1 :LMPP	Punto 2	Punto 1: Punto2	Punto2 :LMPP	LMPP*
S. Susp (mg/L)	660	121	-	110	6	-	-
ST (mg/L)	2 340	431	-	1 070	2,2	-	-
SV (mg/L)	660	121	-	105	6,3	-	-
SD (mg/L)	1 680	309	-	960	1,8	-	-
DQO (mg/L)	6 800	1 251	97	960	7,1	13,7	70
NTK (mg/L)	82,3	15	16,5	10,36	7,9	2,1	5
DBO ₅ (mg/L)	3 150	580	105	475	6,6	15,8	30
DBO ₅ :DQO	0,46	-	-	0,49	-	-	-
PT (mg/L)	42,9	7,8	21,5	118	0,4	59	2
Grasas y Aceites (mg/L)	<LC	-	-	<LD	-	-	10
Fenoles (mg/L)	<LC	-	-	<LC	-	-	-
Sulf. T. (mg/L)	12,16	2,2	-	1, 52	8	-	-
Conductividad Eléctrica	1 496	-	1,1	998	1,5	0,71	1 400
pH	3,96	-	-	6,58	-	-	6,5 - 8,5

LMPP*: Límite Máximo Permissible Promedio.

Fuente: Informe realizado por el CEAC a la Empresa Glucosa Cienfuegos. Junio 2011

2.2 Estudio experimental

El estudio experimental de esta investigación se realizó en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Química, con la ayuda de algunos organismos y centros laborales como lo son los laboratorios de Recursos Hidráulicos (INRH) y el CITMA.

La materia prima utilizada en estos experimentos provienen de distintas industrias de la provincia de Cienfuegos, entre ellas se encuentran la Empresa Láctea de Cumanayagua donde se extrajo el suero lácteo, el Central 14 de Julio donde se obtuvo una muestra de cachaza, la Empresa de Glucosa Cienfuegos donde se utilizó el agua de maceración, la Torrefactora de café donde se tomaron muestras de los residuales sólidos de esta industria y por último la excreta animal que se recolecto en la Empresa de Genético Porcino de Cienfuegos. El sistema de trabajo de los digestores utilizados en estos experimentos son del tipo Batch o discontinuos.

2.3 Materiales utilizados

Se tuvo en cuenta para la realización de los experimentos una serie de materiales que nos facilitaron el estudio, entre ellos están:



Digestores(Fig. 2.2): Se utilizó 2 tipos de digestores en la realización de los experimentos, uno de cristal de 5 litros donde se realizó la mezcla de los residuales industriales con el purín de cerdo, y los otros digestores de pomo plástico de 5 litros Ciego Montero con sus tapas originales en donde se depositaron las restantes muestras.

Fig. 2.2 Digestor de cristal

Suero Hospitalario: Se utilizó este tipo de suero para que no ocurriera un escape del gas producido y a la vez regular la presión en el digestor. (Ver Anexo I, Fig. 6)

Manguera de goma: Para la unión del digestor con en manómetro de columna de agua.



Manómetro diferencial (Fig. 2.3): Este instrumento de laboratorio se originó con buretas de vidrio unidas en la parte inferior por una manguera de goma y se sujetó con alambres de cobre a una lámina de cartón que le brindara firmeza. (Ver Anexo I, Fig. 8) En la escala se utilizó papel milimetrado para apreciar con exactitud los resultados alcanzados, también se montó sobre un soporte universal para darle mayor estabilidad. El agua que marca la presión dentro de la bureta esta coloreada con sulfato de cobre II para poder distinguir con claridad.

Fig. 2.3 Manómetro diferencial



Balanza Técnica (Fig. 2.4): Se trabajó con una balanza de marca Denver Instrument, modelo SI-4002, con un máximo de pesaje de 4 kilogramos y un porcentaje de error igual a 0.01 gramos la cual nos permitió pesar la materia prima que se utilizaron en los experimentos y para algunos ensayos de laboratorio.

Fig. 2.4 Balanza Técnica



Horador (Fig. 2.5): Para abrirle orificios a los tapones de goma y poder introducirles los instrumentos como el termómetro y una bureta recortada.

Presillas (Fig. 2.5): Para evitar las pérdidas del gas por las mangueras de goma.

Tapones de goma (Fig. 2.5): Para hermetizar el digestor y no ocurra un escape de gas o una entrada de aire.

Fig. 2.5 Utensilios de laboratorio

Termómetro: Este nos permitió conocer la temperatura de la parte gaseosa del digestor.

Embudos de cristal: Se utilizó para el llenado y transferencia de líquidos, manómetro, preparación el sustrato, digestores, etc.

Cinta Adhesiva: Para sellar correctamente los digestores plásticos.



Mortero (Fig. 2.6): Se utilizó para darle el tratamiento adecuado a la materia prima y lograr una granulometría lo menor posible para su mejor descomposición.

Fig. 2.6 Morteros

Jeringa de insulina: Para que pase el gas del digestor a un colector de gases.

Bisturí: Para cortar pedazos de goma y de mangueras útiles para armar el digestor.

2.4 Procedimiento de trabajo

Fabricación de los digestores plásticos.

- Se le abrió un hueco a la tapa.
- Se le introdujo la jeringa de insulina y se selló con silicona.
- Se cortó el suero hospitalario por la goma y se introdujo en la jeringa.
- Para sellar la tapa del pomo al mismo se utilizó silicona y cinta adhesiva.



Fig. 2.7 Digestor de plástico

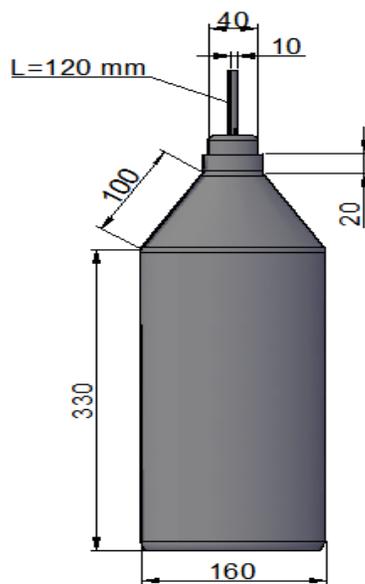


Fig. 2.8 Digestor de plástico

Tipo de digestor: Discontinuo

Material: Plástico

Tipos de Sustratos:

#1: Cachaza + Suero + Purín + Agua

#2: Residuo de café + Agua

#3: Residuo de Glucosa (Agua de maceración)

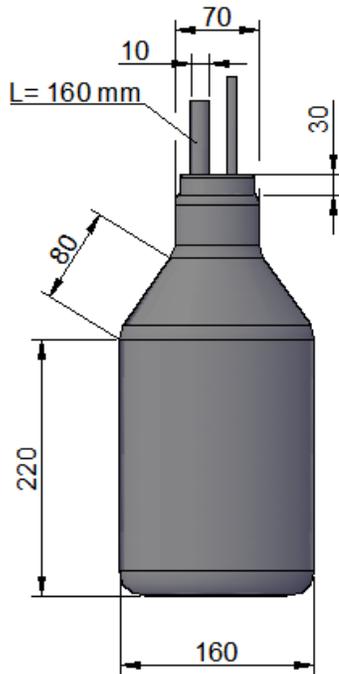
Volumen: 5 L

T.R.H: Muestra inicial; 60 días.

Relación: 1:2

Fabricación del digestor de cristal

- Con un horador se le abrieron 2 orificios al tapón de goma.
- Se les introdujo el termómetro y la bureta a presión.
- Se conectó mediante una manguera de goma el digestor con el manómetro de columna de agua.



Tipo de digestor: Discontinuo

Material: Cristal

Tipo de Sustrato: Cachaza + Suero + Purín + Agua

Volumen: 5 L

T.R.H: Muestra inicial; 60 días.

Relación: 1:2

Fig. 2.9 Digestor de cristal

2.4.1 Recolección de las muestras



El recolector de muestras es el responsable del buen funcionamiento del trabajo. En la parte técnica, deberá conocer todas las técnicas de recolección, tanto químicas como bacteriológicas, así como el proceso de tratamiento y distribución.(M. D. V. Torres, 2014)

Fig. 2.10 Planta de biogás del Genético Porcino

Para análisis fisicoquímicos de la muestra

Técnica de recolección

- **Cantidad:** 3 litros.
- **Frascos:** Se pueden usar frascos de vidrio o de plástico. Los de plástico se usan más debido a su inercia química y por ser más resistentes.

Si por cualquier motivo fuera necesario utilizar botellas de vidrio, se deben emplear las que sirven para transportar sustancias solubles en agua y nunca las que se emplean para sustancias insolubles (aceites, gasolina, etcétera).(M. D. V. Torres, 2014)

- **Limpieza de los frascos:** En el caso del vidrio, se usa una mezcla sulfocrómica o KMnO_4 alcalino, agua limpia y agua destilada. Para material plástico se usa detergente, agua limpia y agua destilada.
- **Durante la recolección:** Lavar el frasco con lo que se va a recolectar. Se debe llenar el frasco directamente, sin embudos ni recipientes intermediarios.

Cuando sea imposible introducir el líquido sin recipientes intermediarios o embudos, estos se deben lavar adecuadamente.(Sluiter et al., 2008)

- **Tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis:**

La duodécima edición de los Métodos Estándares sugiere como límites máximos los siguientes:

Aguas no contaminadas 72 horas

Aguas ligeramente contaminadas 48 horas

Aguas contaminadas..... 12 horas

Se debe recordar que los resultados serán más reales cuanto menor sea el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis.(Carrasco et al., 2007)

- **Temperatura para conservar la muestra:** Se debe reducir la actividad microbiológica con temperaturas bajas y ausencia de luz.

Puntos de recolección

- **Cursos de agua:** Se elige el lugar de acuerdo con la proximidad de las fuentes de contaminación y de los efluentes.

Identificación de la muestra

Siempre se debe identificar la muestra mediante los siguientes datos:

- Localización o procedencia (ciudad, región, etcétera);
- Fuente (río, industria, etc.)
- Lugar de recolección (identificación del punto donde se recolectó la muestra)
- Fecha y hora.
- Temperatura del aire y del agua.
- Nombre del recolector.(M. D. V. Torres, 2014)

2.4.2 Preparación de los sustratos

Experimento No. 1 (Mezcla de residuos industriales + purín de cerdo) (Ver Anexo J, Fig. 9)

- Se le dio tratamiento a la materia prima. (Ver Anexo I, Fig. 7)
- Se pesó la materia prima que se fue a utilizar.
- Se mezcló de forma tal que quedara una mezcla homogénea.
- Se le echo una proporción de agua a esa mezcla del tipo 1:2 para que quedara viscoso el sustrato.
- Se le introdujo esa mezcla al digestor de cristal ocupando 2 L de su volumen.

Tabla 2.2 Relación de la mezcla.

	Cachaza	Purín	Suero	C / N	Agua(L)
X(g)	800	2000	2300		3000
C	0.79	0.45	0.2	1992	
N	0.021	0.025	0.01	89.8	
C / N	22.18263				

Experimento No. 2 (Residuo de la industria del café) (Ver Anexo J, Fig. 10)

- Se le dio tratamiento a la materia prima.
- Se pesó la materia prima (cascara de café) hasta completar 800 g.
- Se le adicionó agua en una proporción de 1:2.
- Se mezcló bien el sustrato. (Ver Anexo I, Fig. 5)
- Se introdujo en un digestor plástico de 5 litros de forma tal que ocupara 2 L del volumen del digestor.

Experimento No. 3 (Residuo de la industria de Glucosa) (Ver Anexo J, Fig. 11)

- Se le adiciono 1,5 L de agua de maceración al digestor.

2.4.3 Relación en la mezcla para determinar el por ciento de sólidos.

Datos:

Purín de cerdo:

- Mezcla masa seca (Mms): 500 ml
- Masa de agua (Ma_p): 1500 ml
- Masa total (Mt): 2000 ml

Materias Primas:

- Cachaza (Mc): 800 ml
- Suero: 2300 ml
- Masa agua (Ma): 3000 ml

Masa seca (Ms) = Mc + Mms

Masa Húmeda (Mh) = Ma_p + Suero + Ma

Masa Total (Mt) = (Ms + Mh)

Masa Total = (1300 ml + 6800 ml)

Masa Total = 8100 ml

Rm = Ms / Mt

Rm = 1300 ml / 8100 ml

Rm = 16 %

Los valores óptimos según la literatura están entre 7 a 9 % hasta 12 %.

El resultado no fue el óptimo ya que la masa seca fue superior y por consiguiente faltó un poco más de líquido en la mezcla, esto influye en el proceso anaerobio respecto al tiempo de retención ya que al ser el sustrato un poco más seco las bacterias no pueden degradar toda la materia en un periodo corto de tiempo.

2.5 Diseño de los Experimentos

Experimento No. 1 (Mezcla de residuos industriales + purín de cerdo)

- Se pesó la materia prima que se fue a utilizar.
- Se mezcló de forma tal que quedara una mezcla homogénea.
- Se le echó una proporción de agua a esa mezcla del tipo 1:2 para que quedara viscoso el sustrato.
- Se le introdujo esa mezcla al digestor de cristal ocupando 2 L de su volumen.

Experimento No. 1: (Mezcla de residuos industriales + purín de cerdo)

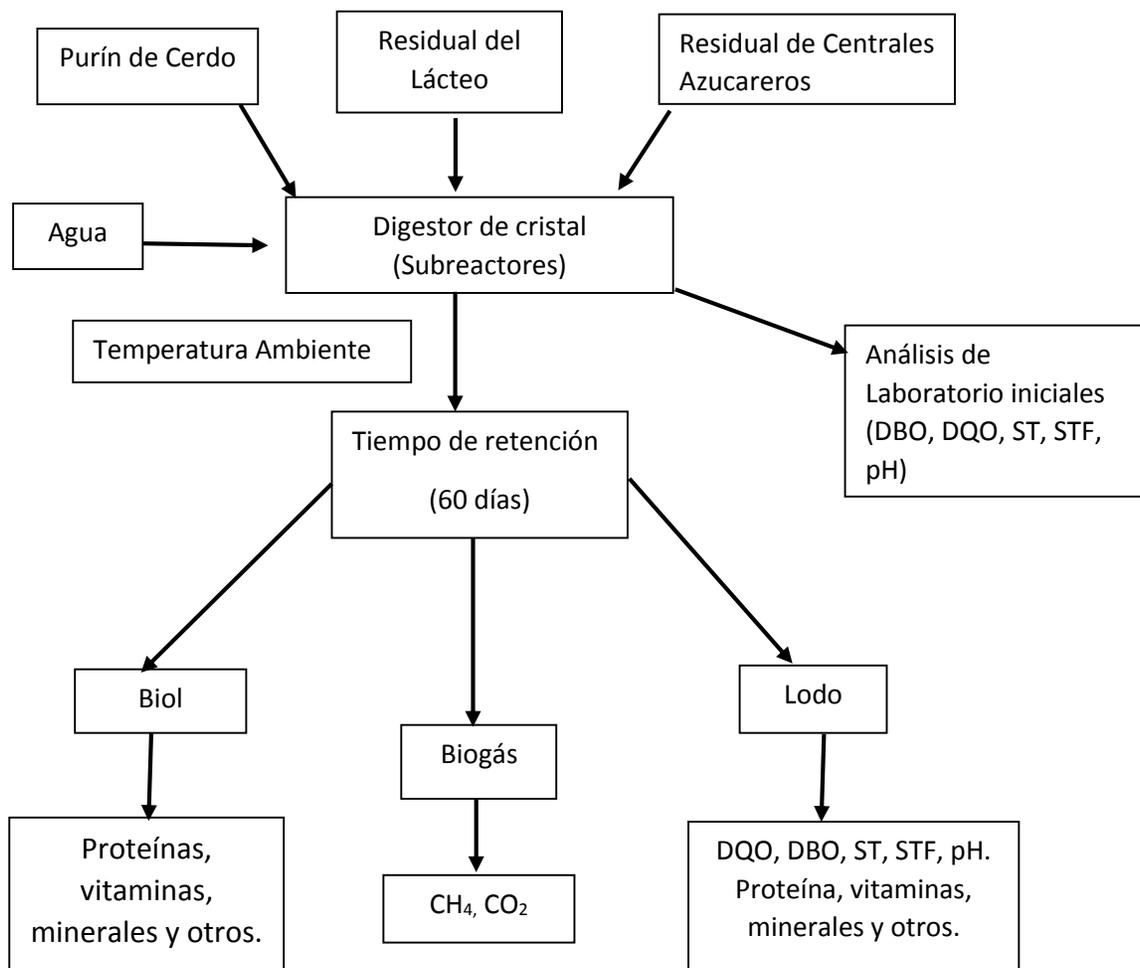


Grafico 2.2 Diseño del experimento No. 1.

Experimento No. 2 (Residuo de la industria del café)

- Se pesó la materia prima (cascara de café) hasta completar 800 g.
- Se le adicionó agua en una proporción de 1:2.
- Se mezcló bien el sustrato.
- Se introdujo en un digestor plástico de 5 litros de forma tal que ocupara 2 L del volumen del digestor.

Experimento No. 2: (Residuo de la industria del café)

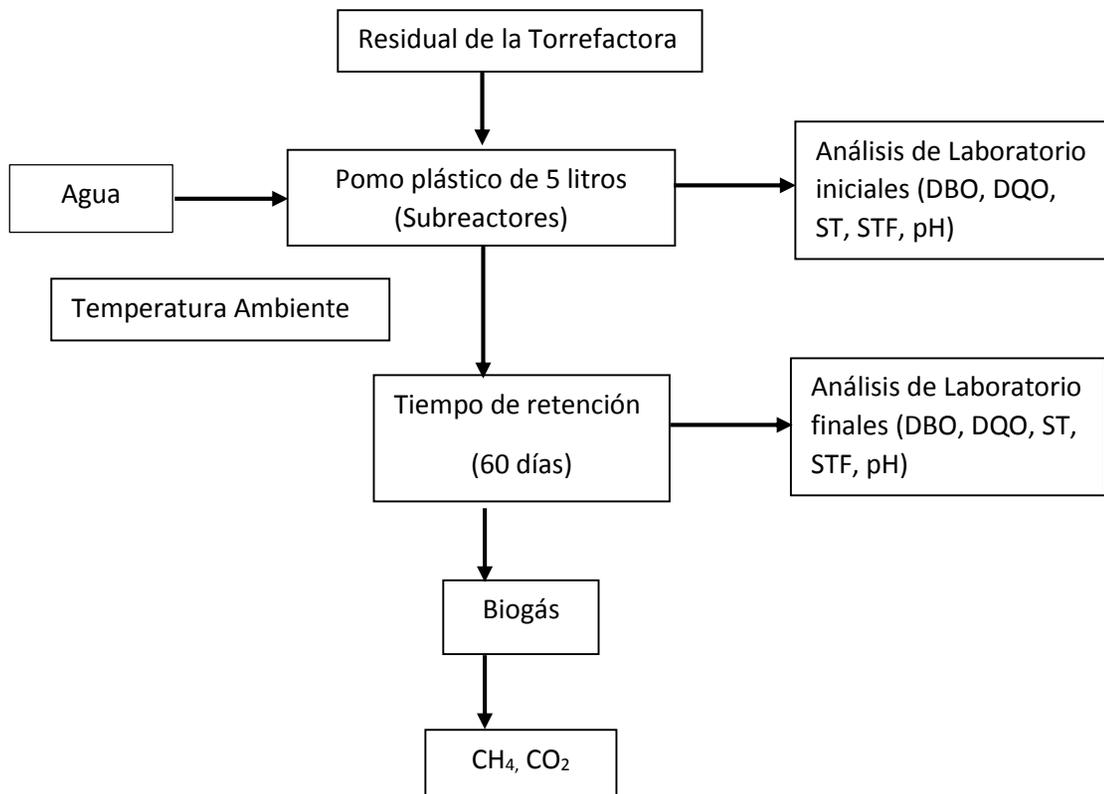


Grafico 2.3 Diseño del experimento No. 2

Experimento No. 3 (Residuo de la industria de Glucosa)

- Se le adiciono 1,5 L de agua de maceración al digestor.

Experimento No. 3: (Residuo de la industria de Glucosa)

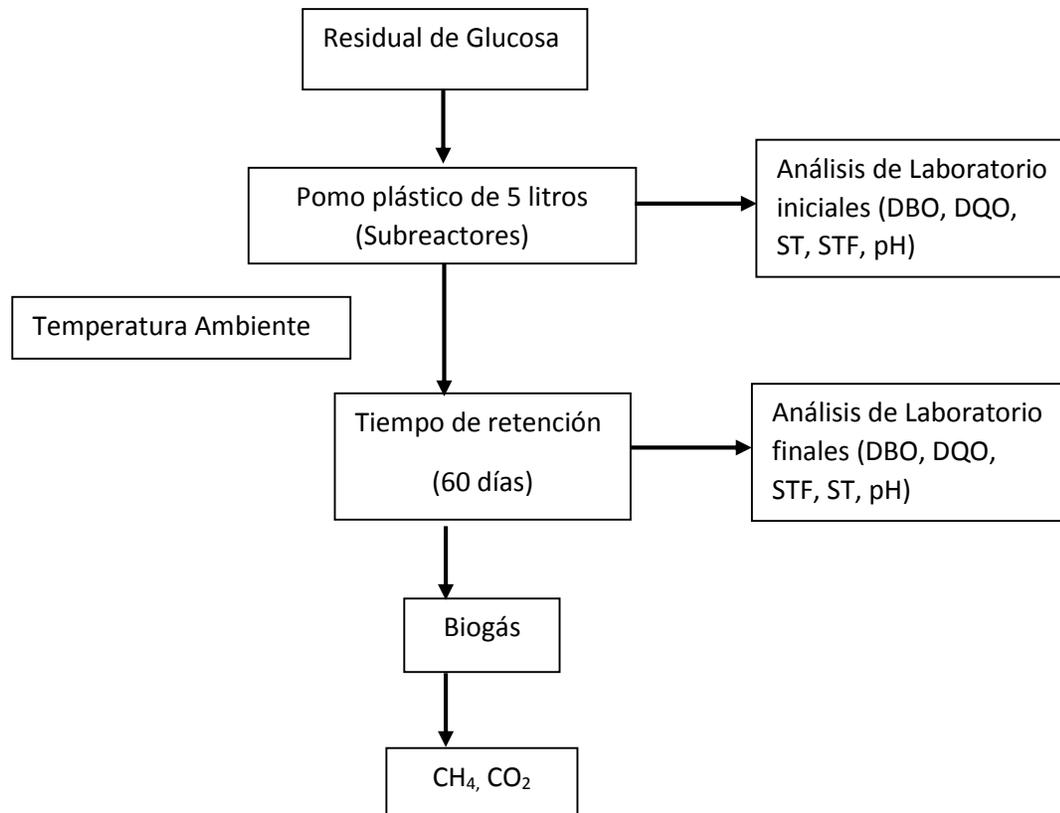


Grafico 2.4 Diseño del experimento No. 3

2.6 Análisis de laboratorio utilizados

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (abreviado DQO) es una prueba de laboratorio que proporciona una medida de la cantidad (demanda) de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica contenida en un agua mediante la reacción química con un reactivo químico que sea un oxidante fuerte. La prueba proporciona una medida rápida de la demanda de oxígeno necesaria de una corriente, del efluente de una planta de tratamiento o de un residual sin tratamiento, así como de cualquier otro tipo de agua.(A. Sluiter, 2008)

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

La demanda bioquímica de oxígeno (abreviado DBO₅) es una prueba empírica que se realiza para conocer la cantidad de oxígeno (demanda de oxígeno) necesaria para estabilizar (oxidar) por la vía biológica (mediante la actividad de los microorganismos) la materia orgánica presente en un agua, ya sea natural, contaminada o residual. Este ensayo de laboratorio se ha normalizado a 20 grados centígrados y cinco (5) días y trata de simular el proceso que ocurre en la naturaleza. (Sluiter et al., 2008)

- **Sólidos Totales (ST)**

Se define con el nombre de aquellos sólidos que constituyen el residuo después de evaporar una muestra a sequedad, a una temperatura entre 103 - 105 °C. El término sólido hace referencia a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. (Hernández et al., 2013)

- **Sólidos Volátiles (SV)**

El residuo seco total volátil es la parte del residuo seco total que se volatiliza a una temperatura de 550 °C. El residuo total volátil es una aproximación aceptable al contenido de material orgánico. (Romero, 2009)

- **Conductividad Eléctrica (CE)**

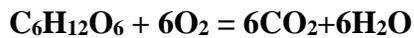
La capacidad que tiene un agua natural para producir la corriente eléctrica se expresa a través del término “conductividad eléctrica” de una disolución. Para medir la CE se utiliza el conductímetro que tiene una celda de medición que presenta dos placas de platino paralelas y con una distancia fija entre ellas. Cuando esta celda se sumerge en un líquido, se le aplica un voltaje a las placas lo que causa una corriente eléctrica que fluye a través del líquido entre las placas. El valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, mientras mayor sea esa concentración, mayor será la conductividad. (Romero, 2009)

- **pH**

El método está basado en la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones Hidrógeno a ambos lados de la pared de dicha membrana.(Romero, 2009)

2.7 Metodología de cálculos para la producción de biogás y su proporción en metano.

La oxidación de la glucosa se expresa como:



La ecuación indica que para oxidar totalmente un mol (180 g) de glucosa se necesitan 6 moles de oxígeno, es decir, $6 \times 32 = 192$ g de oxígeno.

La ecuación que describe el proceso de descomposición anaerobia, creando el metano de glucosa(Guzmán., 2015), se expresa de la manera siguiente:



(180 g \rightarrow 3 x 22.4 x 103 mL)

La ecuación señala que un mol (180 g) de glucosa al descomponerse totalmente dará: 3 x 22.4 x 103 mL de metano.

Como la demanda química de oxígeno (DQO) de 180 g de glucosa es 192 g, ello indica que la productividad de crear metano de 1 g de DQO en $3 \times 22,4 \times 103 / 192 = 350$ mL, a 0 °C y a 1 atm.

Si el análisis se hace a 25 °C y a 1 atm, que son las condiciones promedio de Cuba, entonces:

Con la ley de los gases ideales, se calcula el volumen de metano a una temperatura y una presión, entonces, a 25 °C:

$$PV = n RT$$

$$V = n RT/P$$

Considerando 1 mol de CH₄:

$$V = ((1.0 \text{ mol} \times (0,082 \text{ L-atm/}^\circ\text{K-mol}) \times (298 \text{ }^\circ\text{K})) / 1 \text{ atm})$$

$$V = 24,4 \text{ mL}$$

1 g de DQO nos daría $3 \times 24,4 \times 103 / 192 = 381,2 \text{ mL}$, a 25 °C y 1 atm.

Tabla 2.2: Determinar a diferentes temperaturas la producción de metano.

Temperatura °C	Producción CH ₄ mL
0	350
25	381,2
28	386,0
30	388,2
35	395,3

Fuente: Guzmán China

Teóricamente y según la literatura: 1 g de DQO a 1 atm.(Guzmán., 2015)

Entonces, 1 kg de DQO nos reporta 386,0 litros de metano; pero el biogás es metano más otros gases, en lo fundamental CO₂. Si consideramos el biogás como 60% de metano y 40% de CO₂, entonces podemos afirmar que por cada kg de DQO destruido en el digestor, se formarán:

$$386,0 \times 100 / 60 = 643,3 \text{ litros de biogás.}$$

Consideramos que un litro de excreta = 1 kg

Entonces, la expresión que proponemos para definir la posible producción de biogás, es:

$$((\text{DQO (en kg)} \times 635,3) / 1000) \times 0,60 = \text{m}^3 \text{ de biogás producido.}$$

Como se puede apreciar, estamos considerando 60% de eficiencia en la fermentación anaerobia dentro del digestor, un régimen mesófilo, unos 25 °C con digestión no controlada, en condiciones termófilas éste puede variar y llegar incluso a 85% y más.

$((\text{DQO (en kg)} \times 643,3) / 1\ 000) \times 0,60 = \text{m}^3$ de biogás producido, Como se puede apreciar, estamos considerando 60% de eficiencia en la fermentación anaerobia dentro del digestor, un régimen mesófilo, unos 28 °C.(Guzmán., 2015)

Cálculo Teórico:

Es el mismo para todos los experimentos ya que todos los reactores contaban con el mismo volumen de trabajo.

Datos:

Volumen del reactor (V_r) = 5 L

Considerando que teóricamente el volumen que debe ocupar el gas es un 25 % del digestor.

Volumen del gas (V_g) = 25 %

Producción de biogás (P_b) = $V_r \times V_g = 5\ \text{L} \times 0,25 = 1,25\ \text{L}$

Considerando que el biogás está compuesto teóricamente por un 60 % de metano.

% Met = 60 %

Producción de metano (P_m) = $P_b \times \% \text{ Met} = 1,25\ \text{L} \times 0,6 = 0,75\ \text{L}$

Cálculo Real:

Experimento No. 1

Datos:

Coefficiente de las materias primas (N).

Cachaza (N_c)= 0,4

Purín (N_p)= 0,27

Suero (N_s)= 0,3

Peso de las materias primas (X).

Cachaza (Xc)= 800 g

Purín (Xp)= 2000 L

Suero (Xs)= 2300 L

Para calcular la producción de biogás se multiplica el valor del coeficiente de cada materia prima por el peso que se depositó en la mezcla y se divide por la cantidad de materia prima que se utilizó.

$$Pb = \frac{Nc Xc + Np Xp + Ns Xs}{3}$$

Para calcular la producción de metano:

DQO_D (Degradado) = DQO_I (Inicial) - DQO_F (Final)

% DQO = DQO_D / DQO_I

$Pm = Pb \times \% DQO$

Experimento No. 2

Datos:

Coeficiente de la materia prima (N).

Café (Nca)= 0,33

Peso de la materia prima (X).

Café (Xca) = 1600 g

Para calcular la producción de biogás:

$Pb = Nca Xca$

Para calcular la producción de metano:

DQO_D (Degradado) = DQO_I (Inicial) - DQO_F (Final)

$$\% \text{ DQO} = \text{DQO}_D / \text{DQO}_I$$

$$\text{Pm} = \text{Pb} \times \% \text{ DQO}$$

Experimento No. 3

Datos:

Coefficiente de la materia prima (N).

Agua de maceración (Ng) = 0,38

Peso de la materia prima (X).

Agua de maceración (Xg) = 1500 L

Para calcular la producción de biogás:

$$\text{Pb} = \text{Ng} \times \text{Xg}$$

Para calcular la producción de metano:

$$\text{DQO}_D \text{ (Degradado)} = \text{DQO}_I \text{ (Inicial)} - \text{DQO}_F \text{ (Final)}$$

$$\% \text{ DQO} = \text{DQO}_D / \text{DQO}_I$$

$$\text{Pm} = \text{Pb} \times \% \text{ DQO}$$

2.7.1 Metodología para calcular la relación carbono/nitrógeno (C / N) de una mezcla de materias primas.

Para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, es conveniente combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimiento y de distintas velocidades de generación; también es conveniente agregar las materias primas ricas en nitrógenos a las materias primas de alta relación C / N, a fin de bajar esta relación. Una relación carbono/nitrógeno 20:1 o 30:1 en la materia prima utilizada para la fermentación será la más adecuada para el proceso de obtención del biogás.(Pérez-Cerdá, 2011)

La relación C / N se puede calcular aplicando la formula siguiente:

$$K = \frac{C1 X1 + C2 X2 + C3 X3 + \dots}{N1 X1 + N2 X2 + N3 X3 + \dots} = \frac{\sum Ci Xi}{\sum Ni Xi}$$

En donde: C: Porcentaje de carbono en la materia.

N: Porcentaje de nitrógeno en la materia.

X: Peso de la materia prima.

K: Relación C / N de la mezcla de las materias primas.

Conclusiones Parciales

- ✓ Se logró estructurar el trabajo en el diseño de los experimentos permitiendo organizar mejor el trabajo.
- ✓ Se calcularon las relaciones de las mezclas en cuanto al porcentaje de sólidos y la relación C / N dando como resultado esta última dentro de los parámetros óptimos que son de 20-30:1.
- ✓ Todos los experimentos se realizaron con una relación de 1:2 para que la mezcla quedara bastante homogénea.
- ✓ Se determinó el valor teórico de la producción de biogás y metano en los digestores tratados dando como resultado un valor de producción de biogás igual a 1.25 L y de metano de 0.75 L.

Capítulo III: Resultados y discusión.

3.1 Resultados de los experimentos.

Resultados del experimento No. 1 Mezcla de residuos de la industria (Cachaza + Purín + Suero).

Tabla 3.1 Resultados del experimento No. 1

Tratamiento	DQO(mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	pH	ST(mg/L)	STF(mg/L)
Inicial	39 270	40 250	4,80	11 605	741
Final	6084	1261	6,22	1822	429

$$P_b = \frac{N_c X_c + N_p X_p + N_s X_s}{3} = \frac{(0.4)(0.8) + (0.27)(2) + (0.3)(2.3)}{3} = 0.52 L$$

$$DQO_D (\text{Degradado}) = DQO_I (\text{Inicial}) - DQO_F (\text{Final}) = 39\,270 \text{ mg/L} - 6\,084 \text{ mg/L}$$

$$DQO_D (\text{Degradado}) = 33\,186 \text{ mg/L}$$

$$\% DQO = DQO_D / DQO_I = 33\,186 \text{ mg/L} / 39\,270 \text{ mg/L}$$

$$\% DQO = 84 \%$$

$$P_m = P_b \times \% DQO = 0.52 L \times 0.84$$

$$P_m = 0.44 L$$

Resultado del experimento No. 2 Residuos de café.

Tabla 3.2 Resultado del experimento No. 2

Tratamiento	DQO(mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	pH	ST(mg/L)	STF(mg/L)
Inicial	8176	6960	6,57	112 754	7576
Final	2721	760	7,60	7582	2157

$$Pb = \frac{Nca \times Xca}{1} = \frac{(0.33)(1.6)}{1} = 0.53 \text{ L}$$

$$DQO_D (\text{Degradado}) = DQO_I (\text{Inicial}) - DQO_F (\text{Final}) = 8\,176 \text{ mg/L} - 2\,721 \text{ mg/L}$$

$$DQO_D (\text{Degradado}) = 5\,455 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ DQO} = DQO_D / DQO_I = 5\,455 \text{ mg/L} / 8\,176 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ DQO} = 67 \%$$

$$Pm = Pb \times \% \text{ DQO} = 0.53 \text{ L} \times 0.67$$

$$Pm = 0.35 \text{ L}$$

Resultado del experimento No. 3 Residuos de Glucosa (Agua de maceración).

Tabla 3.3 Resultado del experimento No. 3

Tratamiento	DQO(mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	pH	ST(mg/L)	STF(mg/L)
Inicial	8979	1050	6,17	27 290	1223
Final	2671	260	7,30	2882	1021

$$Pb = \frac{Ng \times Xg}{1} = \frac{(0.38)(1.5)}{1} = 0.57 \text{ L}$$

$$DQO_D (\text{Degradado}) = DQO_I (\text{Inicial}) - DQO_F (\text{Final}) = 8\,979 \text{ mg/L} - 2\,671 \text{ mg/L}$$

$$DQO_D (\text{Degradado}) = 6\,308 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ DQO} = DQO_D / DQO_I = 6\,308 \text{ mg/L} / 8\,979 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ DQO} = 70 \%$$

$$Pm = Pb \times \% \text{ DQO} = 0.57 \text{ L} \times 0.7$$

$$Pm = 0.4 \text{ L}$$

3.2 Análisis de los resultados.

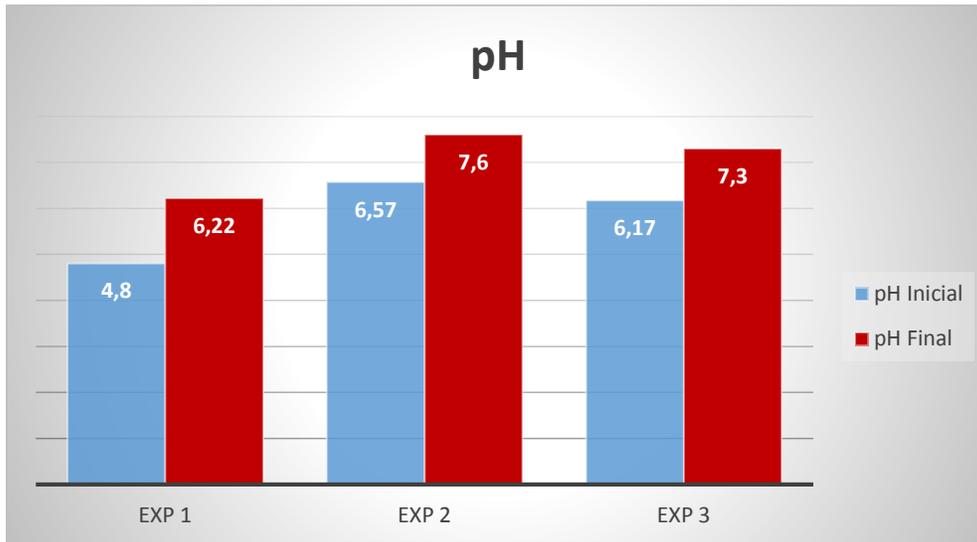


Grafico 3.1 Análisis del pH.

pH: Este parámetro en la fase inicial se comportó con un valor muy ácido sobre todo en el caso del experimento de la mezcla de los residuos industriales y se entiende ya que al principio de la digestión anaerobia ocurre la fase de acidogénesis que ella por si misma ayuda a la formación de estos ácidos, los demás experimentos se comportaron con un valor ligeramente ácido pero aceptable y en la etapa final hay un aumento del pH en todos los casos ya que pasa a medida que avanza el tiempo de retención de la fase acidogénica a la metanogénica y el pH aumenta al desaparecer estos ácidos anteriormente formados para producir metano.

Los valores óptimos para que la producción de biogás y a la vez de metano sean las ideales deben encontrarse entre 6.5-7.5 sobre lo neutro, y este indicador inhibe el proceso de fermentación de no encontrarse en estos valores.

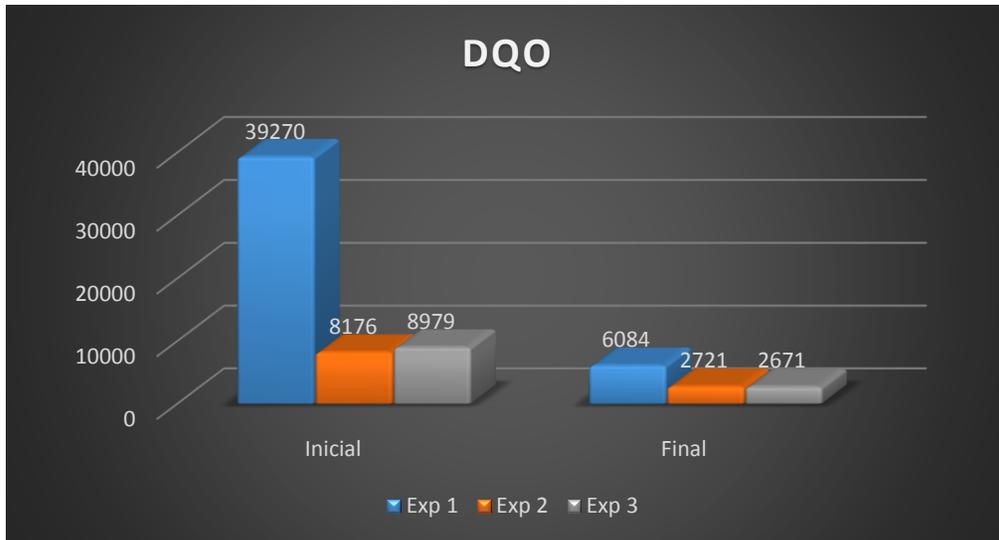


Grafico 3.2 Análisis del DQO.

DQO: Se observa a simple vista en el grafico 3.2 que hay una disminución lógica de los valores de DQO lo cual significa que se ha estado degradando la mezcla y las bacterias están cumpliendo su función. El cambio más notable se evidencia en el primer experimento ya que al ser una mezcla de varios componentes de residuos industriales la demanda de oxígeno que necesita para degradarse la materia es superior al de los otros experimentos, tan es así que se redujo a más de 6 veces el análisis inicial lo cual es un resultado significativo, pero no llega a los parámetros óptimos de degradación que serían en la etapa final de 0-30 que significaría que toda la materia prima que se depositó en el reactor se degradó.

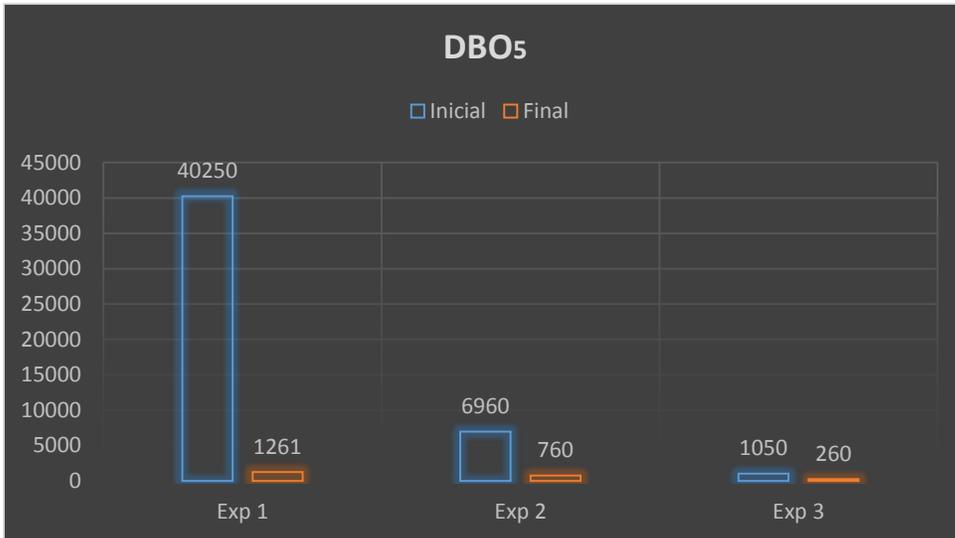


Grafico 3.3 Análisis del DBO₅.

DBO₅: En este análisis de laboratorio como se puede observar en el gráfico 3.3 hay una alta degradación del sustrato lo que se concluye que la demanda por vía biológica fue bastante buena, aunque al igual que el DQO el rango óptimo de degradación es de 0-30 y todavía estos resultados están distantes de los valores ideales debido a que quizás se le pudo haber dado un mayor periodo de retención para que todos los microorganismos de la mezcla consumieran todo el oxígeno que necesitaban para oxidarse.

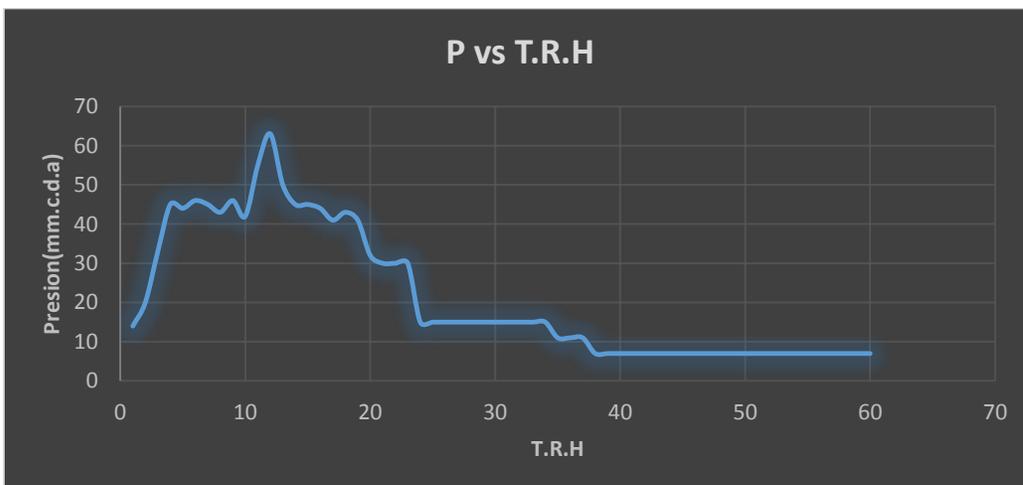


Grafico 3.4 Análisis de P vs T.R.H.

P vs T.R.H: Este gráfico muestra la relación existente entre el tiempo de retención hidráulico y la presión medida a escala de laboratorio. Se observa que a partir de los 10 días de retención del experimento hubo un aumento significativo de la presión lo cual indica que la producción de biogás en ese periodo de tiempo se incrementó alcanzando su valor máximo a los 12 días de haber echado a andar el experimento, pero en esa fase lo que produce es CO_2 y este gas ocupa más volumen en el digestor provocando una subida de presión y al pasar de los días la presión manométrica fue decayendo hasta llegar a mantenerse constante alrededor de los 38 días donde todo ese CO_2 que se obtuvo se empieza a transformar en metano.

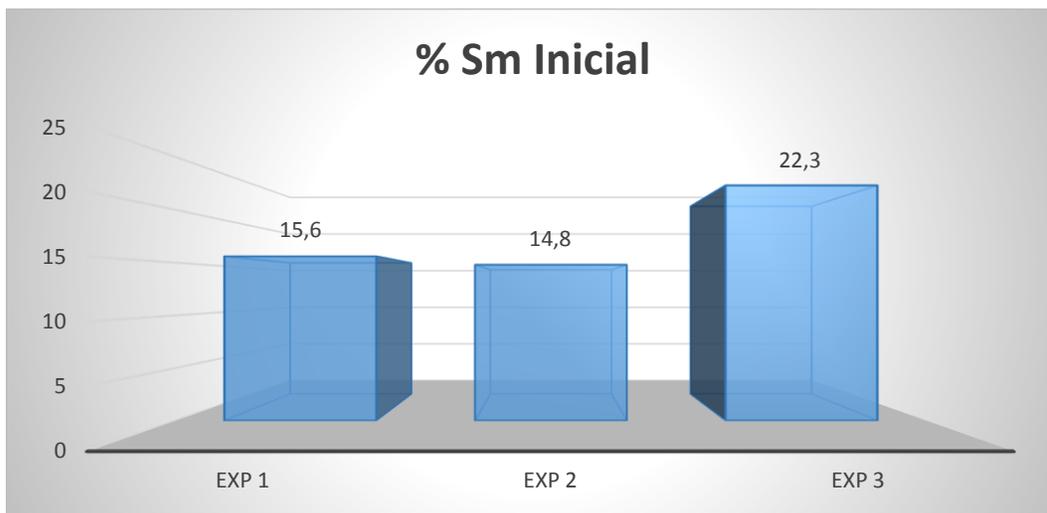


Gráfico 3.5 Análisis del % Sólidos en la Mezcla.

% Sm: En cuanto al porcentaje de sólidos en la mezcla el rango óptimo para que la mezcla produzca una cantidad ideal de biogás serían de 7 hasta el 12 % de sólidos y como se puede observar en el gráfico todos los experimentos están superiores a ese rango lo cual significa que hay poco disolvente y mucha presencia de residuos sólidos secos en la mezcla lo que dificulta que las bacterias puedan degradar con más facilidad y en menor tiempo el sustrato.

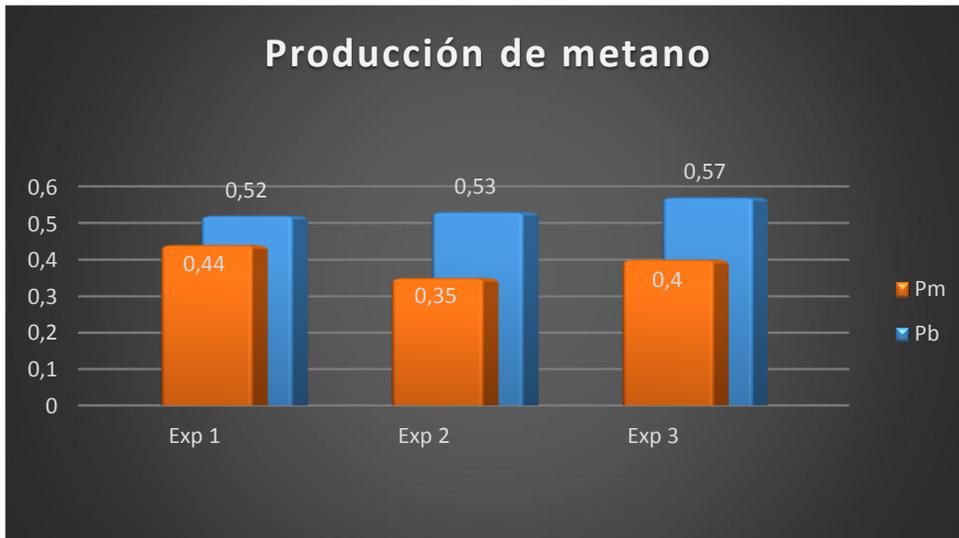


Grafico 3.6 Análisis de la producción de metano con respecto al biogás generado.

Producción de metano: La producción de biogás en estos experimentos no fue la mejor ya que al digester solo se le suministraron dos litros de sustrato de los cinco litros que tenían libres y eso afectó la obtención del gas ya que teóricamente el digester debería estar un 75 % ocupado por la mezcla para que la producción fuera la ideal.

No obstante a este inconveniente la producción de metano presente en el gas alcanzó unos altos porcentajes sobre todo en el experimento 1 que de los 0.52 L de biogás que se produjeron el 0.44 era metano, lo cual da un índice de metano de un 84 % y el resto de CO₂ más algunas trazas de nitrógeno. Se observó también que en el Exp 3 se produjo la mayor cantidad de biogás pero no así de metano lo cual ratifica que no siempre producir mucho gas es sinónimo de metano que en definitiva es el componente que le da la calidad al biogás.

3.3 Evaluación técnica y económica por el uso de mezclas de residuos industriales.

Análisis del costo de la investigación:

Construcción de los reactores:

Pomo 5 L: 6 pomos x 5,00 CUP = 30,00 CUP

Suero: 3 sueros x 2,00 CUP = 6,00 CUP

Manómetro diferencial: 20,00 CUP

Costo de laboratorio: \$ 300,00

Costo de la materia prima utilizada:

Purín de cerdo: 50,00 CUP

Cachaza: 6,00 CUP

Residuo café: 10,00 CUP

Suero: 7,00 CUP

Agua de maceración de glucosa: 3,00 CUP

Costo Total: 432,00 CUP

3.3.1 Evaluación económica de la investigación.

En esta investigación se pudo detallar la calidad del biogás de los experimentos que desde el punto de vista económico tienen una gran repercusión ya que la materia prima que se utiliza para esta tecnología son desechos orgánicos y sobrantes de industrias para convertirlos en energía, tanto eléctrica como calórica. (Ver Anexo K)

Para ayudarnos a ver la utilidad de un metro cúbico de biogás totalmente combustionado nos pueden servir algunos ejemplos sobre lo que se podría hacer:

- ✓ Generar 1.25 KW/h (Kilowatt-hora) de electricidad.
- ✓ Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 vatios.
- ✓ Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora.
- ✓ Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.(Amador & Pagès, 2008)

El lodo generado de los experimentos se pueden utilizar como abono orgánico y así existe un ahorro en relación con los fertilizantes químicos que pasan a ser prescindibles.

El abono orgánico permite sustituir el abono químico Nitrógeno, Fósforo, Potasio (N, P, K). Este presenta la misma cantidad de macronutrientes ya que en el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados (CH₄, CO₂, H₂S) que representan del 5% a 10% del volumen total del material de carga. De modo que sale tanto abono líquido como agua entra en el biodigestor.

Se conservan en el efluente todos los nutrientes originales contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. (Amador & Pagès, 2008).Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores, patógenos, y de fácil aplicación. A continuación se enumeran las principales ventajas de su uso:

- ✓ Aporta nutrientes que no se encuentran de forma disponible inmediata para las plantas en forma de humus que son fácilmente asimilables.
- ✓ Permite el ahorro en abonos convencionales y permite incrementos de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.
- ✓ Dificulta la multiplicación de hongos patógenos ya que no presenta condiciones para la multiplicación de insectos, moscas y bacterias

Además está comprobado que al abonar durante varios años con el cieno de fermentación se observa un mejoramiento de la estructura del suelo, un aumento de la proporción del material orgánico y por ende una mejor capacidad de almacenamiento de agua.(Amador & Pagès, 2008) (Ver Anexo L)

3.4 Impacto ambiental.

Esta investigación tuvo como propósito explorar una nueva forma de energía y una nueva alternativa de tratamiento de residuales que es altamente beneficiosa para el medio ambiente y a los que nos rodeamos de él.

Con este nueva vía de tratamiento se eliminarían las emisiones de gases contaminantes en la atmosfera que son la clave del calentamiento climático, se estima que el uso del biogás genera un ahorro en las emisiones de 0,43 Kg de CO₂/KW/h (Kilowatt-hora) y que cada familia consume 350 KW/h se estaría evitando 150,5 Kg de emisiones de CO₂, a lo largo del año serian 1.806 Kg de CO₂.(Macías, 2013)

También se reduce la contaminación de aguas y la degradación de los suelos si no hay un tratamiento previo de los desechos, se obtienen fertilizantes y abonos orgánicos que permiten el crecimiento acelerado y saludable de las plantaciones, disminuye la proliferación de los insectos y roedores que pueden provocar plagas a la población y a los sembrados, con todos estos impactos se logra un ecosistema más sano que implica una mejora en las condiciones de vida de las personas.

Conclusiones Parciales

- ✓ Se realizaron los análisis de laboratorios correspondientes a cada experimento que dieron como resultado que la mezcla de residuos industriales con purín tuvo una alta concentración de metano en el biogás de un 84 %.
- ✓ El proyecto de investigación a nivel de laboratorio tuvo un costo de 432.00 CUP.
- ✓ Se demostró en los experimentos que el residual líquido que sale de los digestores no tienen malos olores y pudieran utilizarse en el fertirriego.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó una búsqueda exhaustiva de la bibliografía existente en cuanto al tratamiento de las mezclas de residuales industriales y purín de cerdos, no encontrándose bibliografía ni experiencia práctica en Cuba.
- ✓ Se aplicó la metodología del cálculo del método indirecto para calcular la producción de biogás y de metano.
- ✓ Se determinó que a los 12 días de retención en el experimento de las mezclas industriales con purín fue donde hubo una mayor presión en el manómetro diferencial de 63 mm.c.d.a (milímetros de columna de agua), produciéndose la mayor cantidad de biogás.
- ✓ Se demostró en los resultados experimentales que no siempre una alta producción de biogás significa una alta concentración de metano ya que en el experimento No.3 (agua de maceración) fue donde hubo mayor producción de biogás pero en el experimento No.1 de las mezclas industriales con purín hubo mayor concentración de metano produciendo menos biogás.
- ✓ Se demostró en los experimentos que una mezcla de varios residuales es más efectiva en cuanto a la producción de metano que un residual independiente en el digestor con el valor más alto de producción de 0.44 L entre los 3 experimentos.
- ✓ Se demostró que estos residuales tienen potencial para producir biogás de calidad y así poder instalar este tipo de tratamiento de residuales en las fábricas ganando en economía y limpieza del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe continuar estos experimentos con otras combinaciones de mezclas evaluando la optimización anaerobia.
- ✓ Proponemos que se realice un estudio en las fábricas de Glucosa, Combinado Lácteo y la Torrefactora de café, para construir plantas de biogás como sistema de tratamiento y aprovechar los beneficios que aporta con el biogás para su uso como energía.
- ✓ Dar seguimiento a este trabajo con futuras tesis para realizar a escala piloto esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Sluiter, D. H., C. Payne, and J. Wolfe. (2008). Determination of Insoluble Solids in Pretreated Biomass. *National Renewable Energy Laboratory*.
- Alonso., D. A. C. (2012, Abril). Boletín Técnico Agroenergía. *CUBAENERGIA*.
- Amador, P. L., & Pagès, A. S. (2008). Sistematización y cuantificación de biodigestores. Áreas e impactos: social, económica y ambiental. *Programa de Pequeñas Donaciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial*. San José, Costa Rica.
- Carrasco, M. R. Y., Soteras, F. I., Pueyo, F. O., & Viteri, D. Q. S. d. (2007). *Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín*. (Diputación General de Aragón ed.): Departamento de Agricultura y Alimentación.
- Castillo, M. L. R., Tecanhuey, G. C., & Amaro, L. M. (2013, Marzo-Abril). Tratamiento de residuos sólidos orgánicos ¿estrategia sustentable?. *Ciencia y Desarrollo*.
- Contreras, L. M. (2006). Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico. *Revista Futuros, Vol. IV*.
- Chou., I. E. M. (2012). *Evaluación y aplicación de estrategias de Producción más Limpia en la Sección Recepción, Limpieza y Maceración del Maíz, de La Empresa de Glucosa Cienfuegos*. (Tesis en opción al nivel académico Máster en Producción Más Limpia.), Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.
- Daudén, A. (2012). Valorización energética de residuos orgánicos: codigestión de purines. *Seminario de Gestión Ambiental, Cambio climático, agricultura y eficiencia energética en el medio rural*.
- García., L. Y. P. (2015). “Oportunidades de negocios para generar energía eléctrica a partir de plantas de biogás en la Provincia de Cienfuegos”. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Gómez, J. P. (2010). *Gestión de residuos industriales*. Fondo Social Europeo: Paralelo Edición, SA.
- González, M. L. Z., Granma., D. D. M. U. D., Reyna, I. Y. C., Socarrás, I. I. M., Granma., D. d. M. U. d., Varela, I. A. L., & Granma., D. d. d. C. T. U. d. (2010).

- Consideraciones sobre la utilización del biogás. *Considerations on the use of the biogás. Methodology for the construction of a small plant of biogás*, 7.
- Guzmán., D. C. J. M. (2015). *Digestión anaerobia para el tratamiento de residuo orgánico.*: Editorial Academica Española.
- Hernández, E. G., González, L. C., Reyes, A., & Ortiz, R. S. (2013). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos en una finca de montaña de la provincia Cienfuegos. *40 Aniversario Centro Agrícola*.
- Herrera, M. S. T. d. C. B., Animal, F. d. C., & Sobalvarro, M. S. J. A. G. (2005). Construcciones y uso de biodigestores tubulares plásticos. In U. N. Agraria (Ed.), (Dr. Freddy Alemán ed.). Managua, Nicaragua.
- Hilbert, I. A. M. S. J. A. (2010). *Manual para la producción de biogás*. I.N.T.A. - Castelar: Instituto de Ingeniería Rural.
- Inés, L. M. (2008). *Guía para proyectos de biodigestión en establecimientos agropecuarios*. (Ingeniería Ambiental), Universidad Autónoma de Entre Ríos.
- Lopez, L. (2011). Producción de biogás a partir de residuos orgánicos.: Biogas Maxx.
- Lopez, M. B., & Paredes., R. (2005). Generación de energía con biogás de residuos agrícolas en plantas agroindustriales “*Advances in Engineering and Technology: A Global Perspective*”.
- Lorenzo, D. M. (2014). Ejecutan acciones para la protección del medio ambiente en Cienfuegos. *Perlavision*.
- Macías, J. G. L. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?*. Guadalajara, Jalisco.
- Pedreño, N., Herrero, M., Gómez, L., & Mataix, B. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. (Espagrafic ed.). Universidad de alicante.
- Pérez-Cerdá, F. J. O. (2011). *Biodigestor anaerobio de laboratorio.*, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés.
- Pozuelo, A. E. C. (2001). *Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria*. (Doctor Ingeniero Agrónomo Tesis Doctoral), Universidad de Lleida.

- Reyes, D. D. O. M. e. I. I. P. (2012). Tecnología de codigestión anaerobia: una alternativa para Cuba. *Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER)*.
- Romero, L. C. A. (2009). Material de laboratorio.Reconocimiento y manejo del mismo. Normas de seguridad. Algunas operacione sencillas. In F. D. C. Agrarias & S. d. C. y. T. E. C. Universitaria (Eds.). Universidad Nacional de Catamarca.
- Sabata, J. C., Torras, A., Elies, E. G., & Martell, M. (2005). *Gestión de los residuos sólidos urbanos*. Ajuntament de Barcelona: Metropolis.
- Sánchez-León, M. S. E., & Cruz-Virosa, M. S. I. (2012). Procedimiento para el manejo de residuales líquidos industriales. Aplicación en Gydema, Cienfuegos. *Tecnologia Quimica, Vol. XXXII, No. 2,*.
- Savón, R. C. B., Pérez, S. R., Abreu, M. d. l. C. M., & Brown, A. I. T. (2003). Ventajas del empleo de reactores UASB en le tratamiento de residuales liquidos para la obtencion de biogas. In U. d. O. Centro de Estudios de Biotecnología Industrial (Ed.).
- Siles, F. A. (2012). *Generacion de energia electrica a partir de la produccion de biogas.*, Universidad de Mexico, Mexico D.F.
- Sluiter, A., Hames, B., Hyman, D., Payne, C., Ruiz, R., Scarlata, C., . . . Wolfe, J. (2008). Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples. *National Renewable Energy Laboratory*(march, 31).
- Torres, M. D. V. (2014). Análisis químico de residuos con potenciales a ser usados en biodigestores.
- Torres, M. L., Lloréns, M. d. C. E., & Delgado., J. (2004). Desarrollo tecnológico en la gestión integral de los residuos urbanos en Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 35*.
- Villegas, D. L. P. J. (2011). Desarrollo y perspectivas de la tecnología del biogás en los países subdesarrollados.
- X. Flotats, E. C., J. Palatsi y A. Bonmatí. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con residuos de la industria alimentaria.
- Xinhua. (2014). Impulsa Cuba uso de biogás en sector agrícola.

ANEXOS

Anexo A

Tabla 1. Residuos que producen biogás.

Una gama extensa de materias que producen gas como resultado de una digestión son las que se muestran en la tabla 1:

Naturaleza de las materias	Cantidad de gas a 30° en 1/kg del residuo seco.		Contenido de metano %	Semi - Periodo días.
	Total	Orgánico		
A) Urbana.				
• Fango de agua residual	431	607	78	8
• Basura sin cenizas	281	305	66	10
• Papeles	227	259	63	8
• Desperdicios Vegetales	608	643	62	6
• Desperdicios de mataderos				
◊ Intestino	461	524	74	13
◊ Viseras	87	89	42	2
◊ Sangre	158	159	51	2
B) Industriales.				
• Vertidos de lecherías	975	1025	75	4
• Suero de leche(673 g/l de residuo seco)	670	--	50	-
• Agua residual de levaduras secas	486	796	85	-
• Agua de papeleras	250	--	60	-
• Recortes de remolacha	400	423	75	4
• Orujo de manzanas	313	322	75	4
• Orujo de uva (fermentado)	137	200	79	27
• Residuos de cervecerías (lúpulo)	426	445	76	2
• Residuos de naranjas	482	500	72	5
• Cáscaras de plátanos secas	413	460	78	18
C) Agrícolas.				
• Estiércol con paja	286	342	75	19
• Excrementos de caballo	391	430	76	16
• Excrementos de vaca	237	315	80	20
• Excrementos de cerdo	257	415	81	13
• Paja de trigo	348	367	78	12
• Hojas de papas	526	606	75	3
• Paja de maíz	485	514	83	5
• Hojas de remolacha azucarera	456	501	85	2
• Hierba	490	557	84	4
• Paja de maquina Trilladora	338	386	73	10

Anexo B

Tabla 2. Composición de purines de cerdo.

Composición de Purines de Cerdo 			
INDICADORES	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA
↓ Sólidos Totales ST (%)	1,0	17,1	6,1
↓ Sólidos Volátiles SV / ST (%)	45,2	75,0	64,9
↓ SST/ST (%)	28,9	95,6	68,8
↓ SSV/SVT (%)	52,6	98,9	85,9
↓ N - Amoniacal (mg/L)	1.200,0	7.500,2	4.332,2
↓ N - Orgánico (mg/L)	385,4	3.601,3	1.327,8
↓ Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)	8.200,0	280.100,9	71.591,7
↓ Fósforo P (mg/L)	83,0	6835,7	1.322,8
↓ Potasio K (mg/L)	1.100,0	8.191,0	4.730,9
↓ Alcalinidad Total (pH = 4,3)	1,5	46,4	18,8
↓ Cobre Cu (mg/L)	4,8	158,5	39,0
↓ Zinc Zn (mg/L)	5,1	115,0	59,7
↓ pH	6,7	8,6	7,6

Anexo C

Tabla 3. Rango óptimo de las variables que influyen en el proceso de digestión anaerobia.

PARÁMETRO	RANGO ÓPTIMO
Temperatura (°C)	30 - 35
pH	6.8 - 7.5
Relación C/N	20 - 30
Tiempo de Retención (días)	10 - 25*
Relación excreta /agua	1:1yl:2

Anexo D

Tabla 4. Composición Química de algunos residuales.

Material	%			C/N	
	Materia orgánica	N	P		K
Cachaza (CAI)	79	2,10	2,32	1,23	22/1
Estiércol vacuno fresco	65	1,50	0,62	0,90	25/1
Gallinaza camada	54	1,70	1,20	1,00	18/1
Estiércol porcino	45	2,50	0,60	0,50	10/1
Estiércol ovino caprino	30	0,55	0,26	0,25	32/1
Estiércol equino	17	0,42	0,30	0,70	24/1
Estiércol conejo	40	1,25	1,01	1,18	19/1
Turba interior (alta)	60	1,12	0,71	0,14	31/1
Guano de murciélago	48	3,50	5,25	0,80	8/1
Pulpa de cacao	91	3,21	1,15	3,74	16/1
Gallinaza pura	45	3,50	2,50	2,60	7/1
Paja de arroz	80	0,60	0,30	1,60	77/1
Cascarilla de arroz	80	0,70	0,40	0,80	66/1
Hoja de plátano	85	1,50	0,19	2,80	32/1
Pulpa de café	90	1,80	0,30	3,50	29/1
Hoja de frijol	93	2,00	0,58	2,20	27/1
Restos de hortalizas	70	1,10	0,29	0,70	37/1
Hollejo de naranja	73	0,74	1,32	0,86	57/1
Hierba seca (gramíneas)	70	0,50	0,30	0,90	81/1
Palo de tabaco	71	2,17	0,54	2,78	19/1
Paja de maíz	97	0,18	0,38	1,64	312/1

Fuente: Colectivo de autores (2010)

Anexo E

Tabla 5. Composición bioquímica del biogás.

COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	%VOLUMEN
Metano	CH ₄	60-70
Gas Carbónico	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Acido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Anexo F

Diferentes tipos de biodigestores

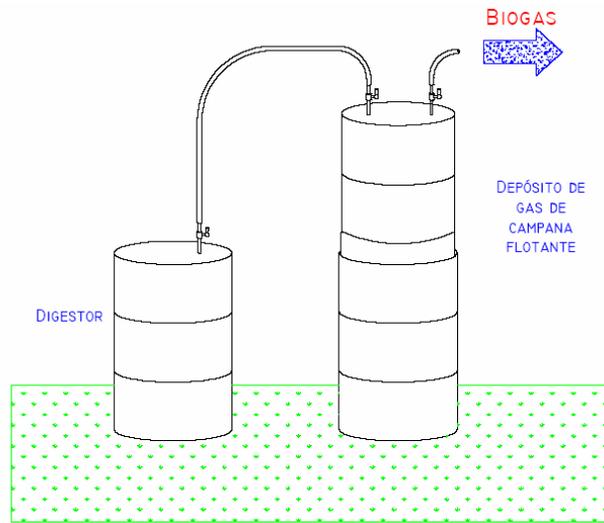


Fig. 1 Digestor de campana flotante.



Fig. 2 Digestor de PVC



Fig. 3 Digestor de cúpula fija

Anexo G

Tabla 6. Comparación entre los 3 tipos más comunes de digestores.

Características	De estructura sólida fija o cúpula fija	De estructura sólida móvil campana flotante	De balón de plástico
Cámara de digestión	Esférica / bajo tierra	Esférica/Semiesférica	Semiesférica
Nivel de tecnología	Madura	Madura	Madura

Características	De estructura sólida fija o cúpula fija	De estructura sólida móvil campana flotante	De balón de plástico
Presión del gas	No constante	constante	Muy baja presión de gas, es necesario aumentar la presión con sobrepeso.
Localización óptima	Todos los climas	Todos los climas	Todos los climas
Vida útil	20 años	20 años	5 años
Ventajas*	<p>Bajos costos de construcción.</p> <p>No posee partes móviles.</p> <p>No posee partes metálicas que puedan oxidarse.</p> <p>No tiene partes expuestas, por eso está protegido contra bajas temperaturas.</p>	<p>Manejo fácil.</p> <p>El gas almacenado es visible a través del nivel de la campana.</p>	<p>Bajos costos de construcción.</p> <p>Fácil transporte e instalación.</p> <p>Construcción horizontal y plana que favorece en los lugares con alto nivel freático.</p>
Desventajas*	<p>La presión puede ser muy alta, por eso la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada; porosidades y grietas pueden afectar la planta.</p>	<p>Alto costo de construcción de la campana.</p> <p>En la mayoría de los casos, la campana es metálica y por eso sujeta a corrosión.</p>	<p>El material plástico está sujeto a daños y tiene que ser protegido.</p> <p>Frágil y susceptible de sufrir roturas.</p> <p>Vida limitada.</p>

	La presión variable en la salida.	Más costos de mantenimiento causado por trabajo de pintura.	
--	-----------------------------------	---	--

Anexo H

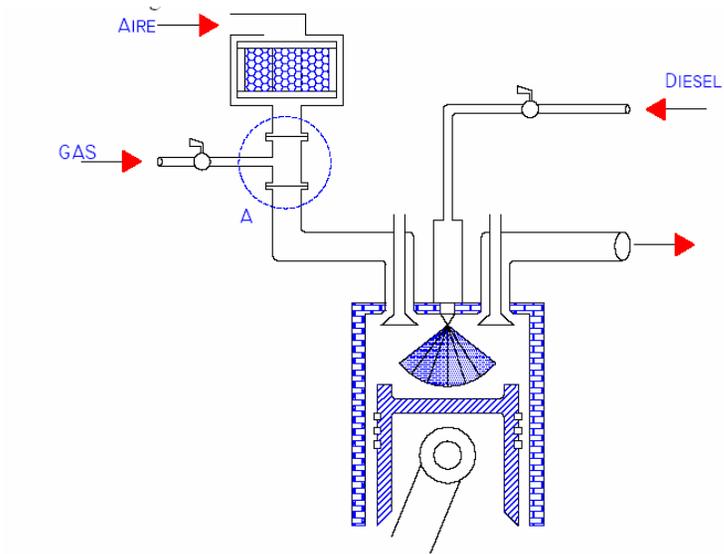


Fig. 4 Motor diésel funcionando con biogás.

Anexo I

Fotos tomadas durante la realizacion de los experimentos.



Fig. 5 Mezcla del café con agua.



Fig. 6 Tapa con el suero.



Fig. 7 Mortero con cachaza.



Fig. 8 Montaje del manómetro.

Anexo J

Fotos tomadas a los experimentos.

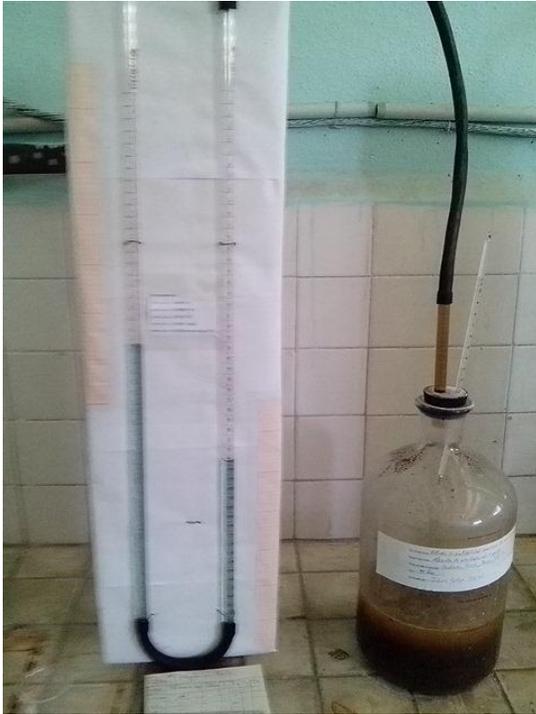


Fig. 9 Experimento No. 1 Mezcla de residuos industriales.



Fig. 10 Experimento No. 2 Mezcla de residuos de la industria del café.



Fig. 11 Experimento No. 3 Residuo industrial de Glucosa.

Anexo No. K

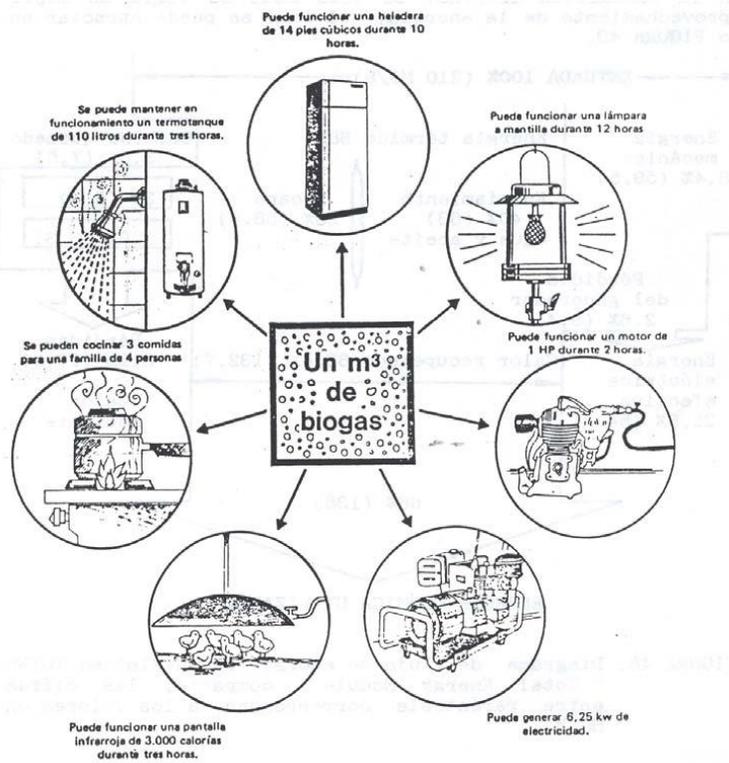


Fig. 12 Aplicaciones del biogás.

Anexo L

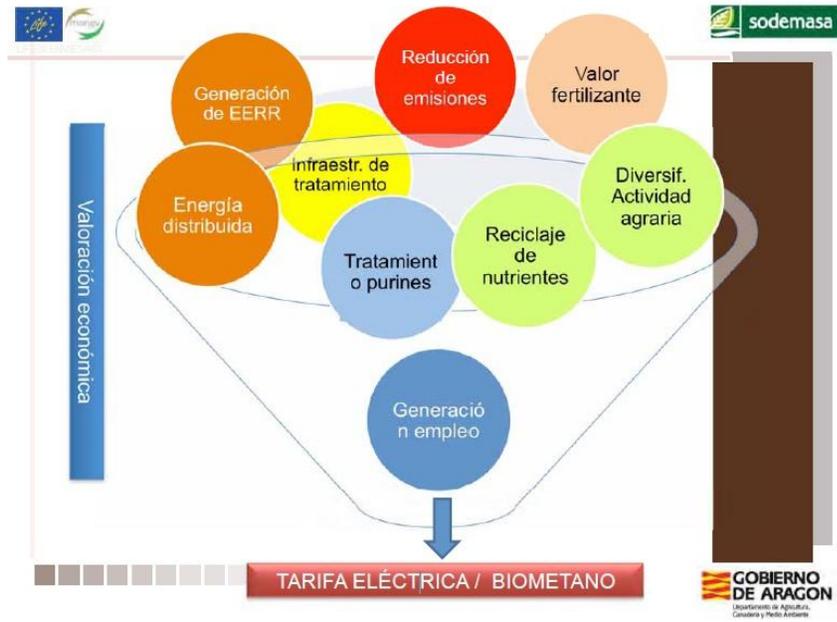


Fig. 13 Valor económico del biogás.