
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA



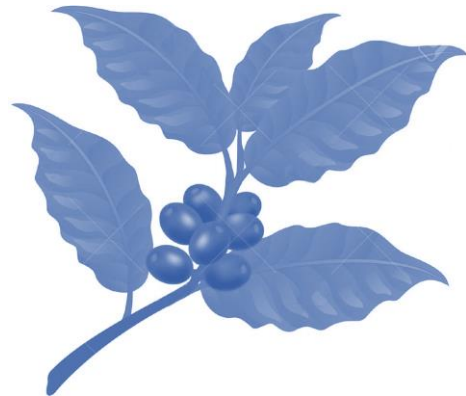
DOCUMENTO MONOGRÁFICO

PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ CON
PROTOTIPO DE GENERADOR ELECTRICO

Elaborado por:

- ❖ Br. Angélica Auxiliadora Montalván
- ❖ Br. Amílcar Josué Zelaya Rayo

Tutor: Msc. Ing. Ramiro Arcia Lacayo



MAYO DE 2015

Dedicatoria

El presente trabajo monográfico es dedicado en primer lugar a nuestros padres y familiares, quienes siempre nos brindaron tanto el apoyo moral como económico en la elaboración de este proyecto, puesto que siempre creyeron en nosotros y cuyo esfuerzo se ve reflejado junto al nuestro en la culminación de nuestros estudios.

A nuestros profesores quienes nos guiaron con amor y firmeza para poder alcanzar nuestras metas.

Y a todas aquellas personas que desde el inicio de nuestra carrera siempre nos brindaron su apoyo y solidaridad, pues creyeron en nosotros para ser capaces de alcanzar nuestros sueños.

Agradecimientos

Agradezco inmensamente a Dios, puesto que gracias a Él tuve la fortaleza de seguir adelante en cada minuto de mi vida incluso en los momentos donde parecía no haber esperanza, Él me mostró que siempre hay una salida, por consecuente Él también me ha brindado la familia y amigos que me han apoyado sin importar las circunstancias.

A mi madre la Sra. Telma Auxiliadora Montalván, a quien le agradezco inmensamente por haber aceptado la tarea de ser madre y que con esmero y dedicación ha cumplido amorosamente los roles de padre y madre, brindando su apoyo tanto moral como económico para poder alcanzar mis metas y sueños.

A mis amigos por haber estado de forma incondicional a mi lado, de manera especial a Leónidas Israel López García quien no solo me ha demostrado ser un gran amigo, sino que ha contribuido en gran manera a la elaboración de esta monografía con sus conocimientos.

A Francisco José Soza Toruño, quien estuvo a mi lado en momentos difíciles de forma sincera e incondicional, agradezco su apoyo y cariño ayudándome a seguir adelante en medio de grandes dificultades, además agradezco su contribución en la elaboración de esta monografía.

A mis abuelos quienes a pesar de no tener ya la dicha de tenerlos a mi lado, me apoyaron aceptándome en el seno de su familia y me guiaron dándome buenos valores morales y espirituales.

Br. Angélica Auxiliadora Montalván

Doy Gracias:

A Dios Todopoderoso por darme la vida y la oportunidad de estudiar esta carrera, por haberme dado unos padres maravillosos, por ser quien soy hasta el momento, por la fuerza y sabiduría porque Sin Él nada seríamos en la vida.

A mis padres Ivania Rayo y Fausto Zelaya porque sin ellos no hubiera sido posible culminar mi carrera, por su apoyo en los buenos y malos momentos, porque siempre tuvieron confianza y creyeron en mí y especialmente por su amor.

A mis abuelos que siempre me aconsejaron y tuvieron palabras de aliento, porque con toda su sabiduría supieron decir las palabras correctas en el momento correcto para levantar el ánimo y que no callera en las cosas malas del mundo.

A Dayana Urbina por todo su cariño y apoyo durante la carrera, porque siempre saca lo mejor de mí y me ayuda hacer mejor persona cada día.

A todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a que la culminación de nuestro trabajo monográfico fuera un éxito.

Br. Amílcar Josué Zelaya Rayo

Finalmente agradecemos también al personal del beneficio húmedo El Hacha en especial al administrador, Lic. Ronald Gregorio Zamora Gaitán, quien nos brindó su apoyo en todo lo que él tuviese a su alcance.

A nuestro tutor el MSc. Ing. Ramiro Arcia, quien nos encaminó y guió en la elaboración de este proyecto con paciencia y dedicación.

Resumen ejecutivo

Nicaragua es un país privilegiado puesto que posee grandes riquezas naturales que gozan de la capacidad de utilizarse en diferentes formas de energías renovables, entre las que se pueden mencionar la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa, etc. De las cuales la biomasa es la que será objeto de estudio dentro de este documento.

Se presentaran los estudios realizados con anterioridad a una de las fuentes de energía que posee Nicaragua como es la biomasa, sin embargo hablar de este tema resulta muy amplio, por lo que se enfocara en la biomasa a partir de la pulpa de café para la generación de biogás y a su vez energía eléctrica.

Se mencionaran los posteriores estudios realizados a la pulpa de café, y luego se presentara de manera teórica el proceso de la biodigestión, y el mejoramiento de la producción de biogás a partir de la combinación con otras mezclas.

A continuación se demostrara de forma experimental el aumento de la producción de biogás con la mezcla de otras sustancias, sin que la pulpa de café deje de ser la base de dicha mezcla.

Finalmente se mostrara el beneficio económico de la implementación de un biodigestor con esta mezcla en haciendas cafetaleras o beneficios húmedos (en nuestro caso el beneficio húmedo que nos brindó su ayuda).

Contenido

Agradecimientos	3
Resumen ejecutivo	5
Introducción	10
Antecedentes	11
Justificación	14
Hipótesis	15
Objetivos	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
Marco teórico	17
La pulpa de café	17
Proceso de biodigestión	19
Digestión aeróbica:	19
Digestión anaeróbica	19
Etapas de la digestión anaeróbica	20
Naturaleza y composición bioquímica de materias primas	23
Productos finales de la digestión anaeróbica	25
Uso del biogás	26
Aplicaciones del biogás	26
Biodigestor	27
Capítulo 1 – Desarrollo Teórico	29
Elaboración de los biodigestores	30
Tipos de biodigestores	30
Temperatura	34
Valor de pH	35
Relación C: N	35

Capítulo 2 – Elaboración de Biodigestor y Modificaciones al Motor.....	39
Construcción física de los biodigestores.....	40
Proceso de construcción	42
Medición de pH.....	45
Modificaciones llevadas a cabo al motor	47
Combustión interna del motor de gas	48
El carburador	49
Modificaciones al carburador.....	49
Capítulo 3 – Análisis de Resultados	52
Análisis Financiero	53
Diseño del Biodigestor	53
Parámetros de Diseño	53
Carga Instalada	53
Consumo de Energía de la Finca.....	55
Tarifa Utilizada por la Empresa	55
Calculo del Biodigestor con una Capacidad de 100 m3	57
CH4 Obtenido en el Biodigestor de 100 m3	58
Conclusiones.....	60
Anexos	61
Anexo N°1	62
Anexo N°2	65
Anexo N°3	69
Anexo N°4	70
Anexo N°5	72
Bibliografía	73

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1	
Origen de residuos orgánicos	23
Tabla N°2	
Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos.....	24
Tabla N°3	
Características generales del biogás	25
Tabla N°4	
Valor energético del biogás Vs otras fuentes	26
Tabla N°5	
Producción de biogás según posteriores estudios	33
Tabla N°6	
Datos técnicos	33
Tabla N°7	
Rangos de temperatura y tiempo de fermentación	34
Tabla N°8	
Relación carbono nitrógeno de las materias primas empleadas comúnmente	36
Tabla N°9	
Datos de la Mezcla N°1.....	37
Tabla N°10	
Datos de la Mezcla N°2.....	38
Tabla N°11	
Materiales para el biodigestor casero	41
Tabla N°12A	
Calendario de las toma de muestras de pH	45
Tabla N°12B	
Calendario de las toma de muestras de pH	45

Tabla N°13	
Resultados de las tomas de muestras de pH	46
Tabla N°14A	
Bloque de Carga A	54
Tabla N°14B	
Bloque de Carga B	54
Tabla N°15	
Comportamiento de las Cargas en 1 día	56
Tabla N°16	
Fruto recibido de café	57
Tabla N°17	
Pulpa de café recibida	57
Tabla N°18	
Biogás producido en el beneficio	57
Tabla N°19	
Compuesto de la mezcla para biodigestor de 100m3	58
Tabla N°20	
CH4 producido en el biodigestor de 100m3	58
Tabla N°21	
Generación de biodigestor en Kw/h	58
Tabla N°22	
Especificaciones Técnicas de generadores de 10 a 33Kw	69
Tabla N°23	
Tabla de conversión	72

Introducción

El petróleo es un recurso natural no renovable y actualmente es la principal fuente de energía en los países desarrollados. Debido a la importancia fundamental para la industria manufacturera y el transporte, el incremento del precio del petróleo puede ser responsable de grandes variaciones en las economías locales y provocar un fuerte impacto en la economía global.

Durante el año 2004, el consumo mundial de petróleo se elevó un 3,4% y alcanzó los 82,4 millones de barriles al día. Los responsables de casi la mitad del aumento son Estados Unidos y China, que en la actualidad utilizan 20,5 y 6,6 millones de barriles diarios, respectivamente. No obstante el uso y la dependencia excesiva del petróleo no solo presenta repercusiones negativas en el aspecto económico a nivel mundial, lo que ha provocado conflictos bélicos, sino que también representa amenazas para el medio ambiente provocado por los derrames de petróleo en los mares, siendo este muy difícil de limpiar, la combustión de los derivados de este provocan productos residuales como partículas de Dióxido de Carbono (CO₂), Óxido de Azufre (SO_x), Óxidos de Nitrógenos (NO_x), etc.

Es por esto que es necesario empezar a emplear formas alternativas de energía, las cuales sean eficientes, y provechosas tanto para el medio ambiente como para la economía y bienestar de cada país.

Nicaragua no es la excepción, es uno de los países con gran dependencia del petróleo, según la página web de THE WORLD FACTBOOK Nicaragua consume alrededor de 30,000 barriles/día para el año 2010, sin embargo Nicaragua es un país rico en recursos naturales que pueden ser utilizado para generar energía renovable que podría ayudar a impulsar la economía del país, una de ellas es la biomasa.

En este documento se expondrá de forma teórica, el potencial que tiene el país en el sector cafetalero para producir biomasa a partir de la pulpa del café, puesto que en su mayoría esta no tiene ningún uso beneficioso para las propias haciendas productoras de café. Sin embargo es enfocado a la producción de energía de manera privada o para la utilización de la propia hacienda cafetalera, esto no quiere decir que sea imposible que este potencial pueda ser también utilizado a mayor escala, es decir de manera nacional.

Antecedentes

En Nicaragua, durante los años 80, luego de la crisis del petróleo en 1979, las energías renovables tuvieron un primer impulso, con el apoyo de organismos como la FAO, y la Cooperación Bilateral. En particular, en la década de los 80 se realizaron esfuerzos en Nicaragua para producir Biogás especialmente a pequeña escala. “En 1990, se realizó un estudio sobre la situación del biogás en el país, concluyendo dicho estudio que de 62 biodigestores construidos durante la década de los 80, el 32% estaba activo (del cual el 10% en reactivación), el 60% estaba abandonado o no estaba funcionando y el 8% estaba en construcción. Las instalaciones en ese momento, se ubicaban principalmente en los departamentos de Chinandega, León, Matagalpa, Jinotega, Estelí y Madriz”

Durante el período 1990-2004, se estima que se han construido aproximadamente 1,000 biodigestores a nivel domiciliario, principalmente del tipo Taiwán, la mayoría construidos durante 2000-2004. El estudio realizado por el MEM indica que de una muestra de casi 200 biodigestores construidos antes de 2005 solo un 8% está en funcionamiento. En 2005 fueron construidos 31 biodigestores en rastros municipales, fincas pequeñas y haciendas de café, en éstas últimas se ubican la mayor parte de biodigestores activos.

A partir del 2007, se retomó el auge por la instalación de biodigestores domiciliarios rurales. El gobierno, a través del Programa Productivo Alimentario (PPA). En julio del 2008, el Director Ejecutivo del PPA presentó un informe de gestión del año 2007 y el primer semestre del año 2008 en el que informaba que el BPA habría beneficiado a 27,496 familias con diferentes componentes del programa, pero solo 559 de ellas recibieron biodigestores (2%).

En el 2007 la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), realiza un Trabajo-Jornada universitaria de ciencias, en el cual se lleva a cabo la construcción de un biodigestor a base de estiércol en el departamento de Chontales.

En Octubre de 2010 la Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, registra un proyecto de fin de carrera con el título “Puesta en Marcha de un Laboratorio de Biogás en Nicaragua”.

En el 2011 la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), registra un estudio monográfico con el tema del aprovechamiento de las aguas mieles para la producción de etanol y abono orgánico.

En diciembre de 2011 el FOMIN y el Fondo Nórdico de Desarrollo lanzan un programa de biogás para pequeños agricultores en Nicaragua.

El cuatro de mayo de 2014 se publica que El Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo (SNV), el cual lleva a cabo el denominado Programa de Desarrollo del

Mercado de Biogás en Nicaragua, con un fondo de 6 millones de dólares, aportados por el Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y el apoyo del Fondo Nórdico para el Desarrollo (FND). Su objetivo es instalar sistemas de biogás, conocidos como biodigestores, en las fincas de 6,000 pequeños productores agropecuarios de las ciudades de Boaco, Chontales, León, Matagalpa, Nueva Guinea y Río San Juan, donde se cría ganado vacuno.

Biogás Nicaragua, esta empresa con el objetivo de aliviar la deforestación, contaminación y acceso inadecuado a las fuentes de energía, decide vender productos para la utilización de recursos renovables.

CEBiot Upoli en mayo de 2007 impulsa la línea e investigación para la producción de biogás a partir de materias primas complejas, las cuales normalmente no son utilizadas con este propósito, entre estas podemos mencionar residuos orgánicos sólidos de los rastros y mataderos y basura urbana.

En octubre de 2011 la empresa CISA Exportadora, inaugura una planta de biogás, actualmente se encuentra produciendo energía eléctrica, opera en el beneficio del café El Carmen, Diriamba, Carazo, generando biogás a partir del tratamiento de aguas mieles.

10 de febrero de 2014 la empresa TECNOSOL, firma un convenio con SNV, Agropecuaria Lafise, La perfecta, Nicacentro y SUNI-SOLAR, con el fin de realizar actividades para promover la adaptación de sistemas de biogás de bolsa o domo fijo entre 750 pequeños y mediano productores, en los municipio de Muy Muy, Matiguás, Rio Blanco, Matagalpa, Región Autónoma Atlántico Norte, entre otras que forman parte de la cadena de suministros de la empresa La Perfecta.

En Nicaragua se han realizado una serie de estudios dirigidos al rubro cafetalero, por medio de organizaciones como el MARENA, UNICAFE (Unión Nicaragüense de cafetaleros) lo cual hace referencia al aprovechamiento de los subproductos que se generan en el beneficiado húmedo de café, con proyectos que están estrechamente vinculados con la disposición de la pulpa del café como materia orgánica para la elaboración de abono orgánico, sustrato para lombricultura, cabe destacar que los proyectos para la disposición de aguas mieles en Nicaragua, han estado vinculadas al aprovechamiento de los compuestos orgánicos que esta presenta para el riego en suelos infértiles, como materia prima secundaria para la elaboración de abonos orgánicos con la pulpa de café y la producción de fertilizante foliar (Investigación llevada a cabo por estudiantes UNI-Norte).

Sin embargo hasta ahora la pulpa del café ha sido tomada en pequeña proporción, para la producción del biogás, el cual utiliza en mayores proporciones diversos desechos orgánicos como el estiércol de vacas, desechos de las plantas de chagüite, etc., desperdiciando gran parte de la pulpa de café que se produce en el país, por otro lado, no han sido dirigidos estudios directamente a la producción de

energía eléctrica para el abastecimiento propio de haciendas cafetaleras, desperdiciando una potencial fuente de energía.

En los años 50, el Instituto Nicaragüense de Energía (INE), realizó ensayos para el tratamiento de la pulpa de café en un beneficio, sin embargo el resultado fue desalentador.

No obstante en 1993 en el seminario regional sobre el mejoramiento de la calidad del café, llevado a cabo en honduras por el IHCAFE e IICA un equipo mexicano propone soluciones y muestra un resultado alentador ante la antes mencionada ineficiencia de la pulpa del café.

La Unión de Cooperativas de la Reforma Agraria, Productoras, Beneficiadoras y Exportadoras R.L. (UCRAPROBEX), en El Salvador, junto con (BUN-CA, 2002) realizaron un estudio que se enfocó en la generación de gas metano, a partir de las aguas mieles, a través del proceso de la digestión anaeróbica. Considerando la cantidad de las aguas mieles, se definió que la capacidad máxima para la generación de energía térmica sería 250 kWh, con un generador eléctrico de 50 kW tomando en cuenta que las leyes ambientales del país no permiten la descarga del agua sin tratamiento, también se consideró la posibilidad de implementar, inicialmente, un sistema de tratamiento de aguas, el cual se podría convertir en uno de generación de energía a mediano plazo

En Bolivia se realizó un estudio de PML (Producción Más Limpia), lo cual llevó a cabo la separación de los residuos durante el despulpado y el desmucilaginado (proceso por el cual se desprende la mucosidad que se encuentra entre el grano y la cereza de café), mejorando el tratamiento y disposición final. CIACNEN (Compañía Industrial Agrícola Café Nueva Esperanza Núñez) colocó divisiones a la salida de la máquina, que permita separar la pulpa de las aguas mieles, luego estas aguas son conducidas a una piscina para su tratamiento. En cuanto a la pulpa, una parte de ella es retirada por los productores quienes la secan para su propio consumo y para comercializarla en forma de sultana, la pulpa que queda en la planta es utilizada para la elaboración de compost. (CPTS, 2005)

Otras fuentes investigadas de carácter internacional plantean soluciones que contribuyen al desarrollo medioambiental, como es el de dar uso eficiente a los subproductos generados en el beneficio húmedo ya que existe la posibilidad de generar energía a través de biogás. Otras opciones plantean la producción de etanol a partir de pulpa fresca y de primera prensada en la cual obtiene un resultado de 41.47 ml/L de etanol por cada libra de materia prima utilizada y una concentración de sustrato de 97.74%, como también se encontró una calidad calorífica en el producto obtenido de 1.24 MJ/KG (Rodríguez, 2009).

Justificación

El presente trabajo tiene la virtud de manejar importantes problemáticas, la primera es la dependencia excesiva del petróleo como principal fuente de generación de energía eléctrica, la segunda es el desperdicio de la pulpa de café, el cual es producido en abundancia por la hacienda cafetalera haciendo uso casi nulo de esta materia prima. Con este proyecto se pretende disminuir la dependencia de la energía no renovable, por parte de las haciendas cafetaleras y por tanto de los elevados costos que esta le agregan a su proceso de producción; por otro lado la utilización y disminución de desperdicios nocivos para la naturaleza que presenta la pulpa de café, a través de la biomasa.

Es importante tomar en cuenta que ya han existido estudios con el mismo fin, estos han sido pocos y el único que intento llevarse a cabo tuvo resultados desalentadores, sin embargo utilizando nuevos procedimientos se pretenden alcanzar mejores resultados. De llevarse a cabo el proyecto, contribuiría al uso de la biomasa como fuente de energía eléctrica en Nicaragua.

Otra de las razones de nuestro proyecto es la problemática en los hogares rurales, pues utilizan leña para la cocción de alimentos. El humo que emana de las cocinas y estufas básicas y las lámparas de queroseno es una fuente de contaminación del aire en los hogares y puede causar enfermedades respiratorias crónicas a los miembros de la familia. Además el uso de la leña implica inversión de tiempo, especialmente de mujeres, niños y niñas, y dinero, lo que se ahorra con el uso de biogás.

Hipótesis

Demostrar que es posible optimizar la degradación de la pulpa de café al mezclarla con materia prima con biodegradación más rápida, esto para acelerar el proceso de biodigestión anaeróbica y aprovecharlo para generación de energía eléctrica, con un prototipo de generador que trabajara a base de biogás.

Objetivos

Objetivo General

Demostrar que a través de la implementación de nuevos métodos (combinación de la pulpa del café con otras mezclas) la posibilidad de optimizar la producción de biogás y generar energía eléctrica a través de un prototipo de generador eléctrico.

Objetivos Específicos

Demostrar de forma experimental la posibilidad de la producción del biogás a través de la pulpa del café, para generar energía eléctrica a través de un prototipo de generador eléctrico.

Optimizar a través de la implementación de nuevas metodologías como es la combinación de sustancias la producción de biogás a partir de la pulpa de café.

Mostrar los beneficios económicos que traería a la empresa cafetalera, la utilización del biogás a partir de la pulpa de café.

Marco Teórico

La pulpa de café

El cafeto es una de las pocas plantas que florece y da fruto al mismo tiempo que el árbol, de forma cónica, se caracteriza por la flexibilidad de sus ramas, unas hojas de color verde intenso y una flor blanca con agradable aroma a jazmín.

Puede llegar a crecer hasta los 12 metros, pero se poda a una altura de 2 o 3 metros para facilitar la recolecta, que se hace a mano. Cada ciclo de maduración dura entre 7 y 9 meses y proporciona de medio a un kilogramo de café tostado, aunque alguna variedad puede llegar a los dos kilogramos.

El fruto del cafeto se denomina baya, cereza o drupa, se recolecta cuando alcanza un color rojo intenso y consta de las siguientes partes: pulpa, mucílago, pergamino y grano.

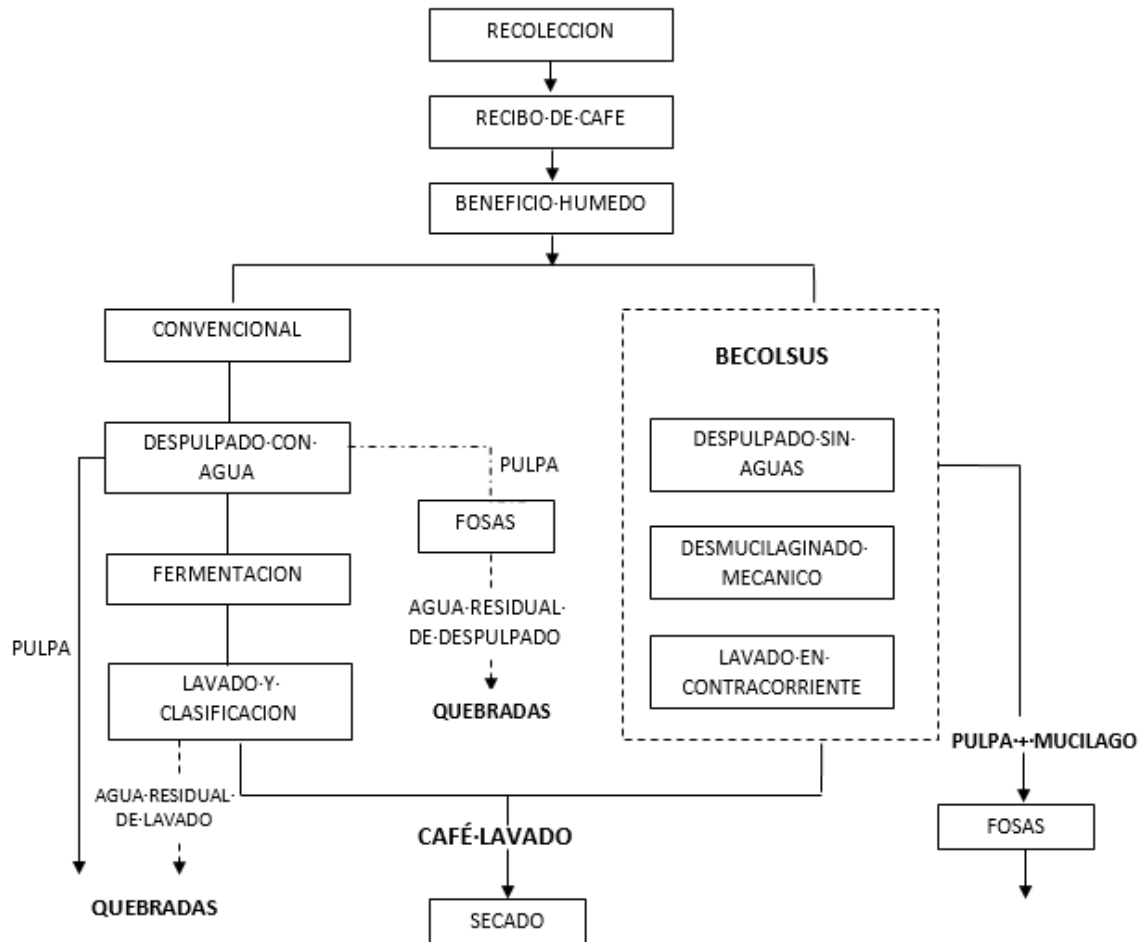
La pulpa es la piel exterior de la cereza, tal como se aprecia en la fig. 1. En cada baya, cereza o drupa nos encontramos normalmente dos granos de café envueltos en una película transparente denominada pergamino, excepto cuando por malformaciones genéticas solo contienen un único grano, llamado caracolillo, alrededor del grano, entre el pergamino y la pulpa, existe una capa llamada mucílago, compuesta por pectinas y azúcares que se eliminan con la fermentación.



Partes de la cereza del café

Figura 1

Proceso para la obtención de pulpa de café



Proceso de la obtención de la pulpa de café

Figura 2

En Nicaragua el período de recolección del grano de café comienza entre los meses de Septiembre y Octubre que es la primera fase en el proceso, luego se recibe y dentro de la misma finca pasa a los beneficios húmedos lo que puede tardar dependiendo la distancia del beneficio entre 1 y 3 horas de transporte. Seguidamente comienza el proceso de despulpado con agua donde da como resultado los desperdicios que se utilizarán como materia prima que son la pulpa y las aguas mieles.

Como podemos observar en la figura 2, existen dos procesos de secado en el caso del País de Nicaragua se hace de la manera convencional siguiendo cada una de las distintas fases hasta que es lavado y clasificado después se envía al beneficio seco para su respectivo secado.

Proceso de biodigestión

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado.

Una forma de manejar los residuos orgánicos es a través de la biodigestión. Existen 2 tipos de biodigestión:

Digestión Aeróbica:

Consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que en presencias de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.

La digestión aeróbica es un proceso mediante el cual los lodos¹ son sometidos a una aireación prolongada en un tanque separado y descubierto. El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la autooxidación de la materia celular.

La digestión aeróbica presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos, reduce la cantidad de coliformes fecales y por lo tanto, de organismos patógenos, produce un sobrenadante clarificado con una baja DBO², con pocos sólidos y poco fósforo. El proceso presenta también sus desventajas, entre las que se suele mencionar los altos costos de operación causados por los altos consumos de energía, la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.

Digestión anaeróbica

Es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno.

¹Los lodos consisten en una mezcla de agua y sólidos separada del agua residual, como resultado de procesos naturales o artificiales.

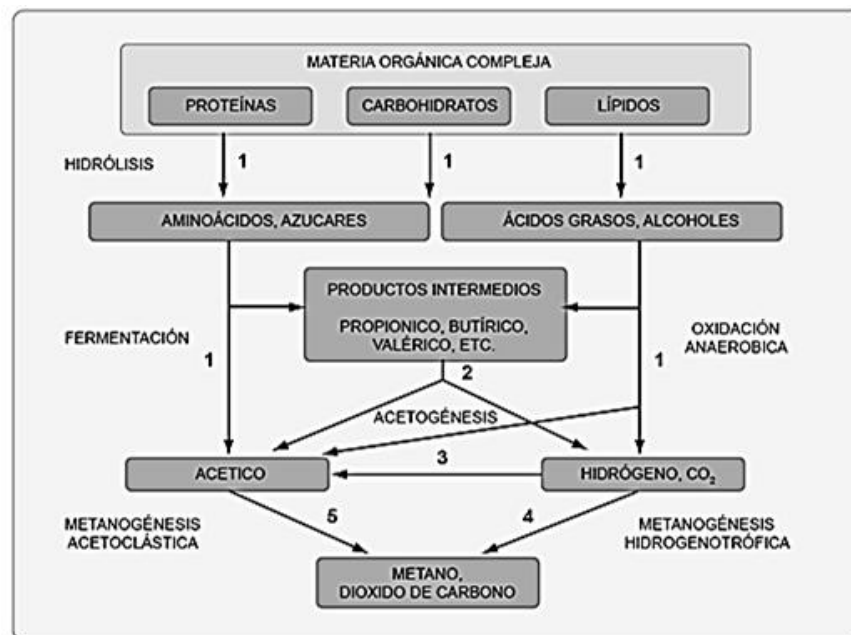
²Demanda Biológica de Oxígeno

Etapas de la Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica



Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica
de materiales poliméricos
Figura 3

Fuente: manual de biogás

Vías de descomposición de sustrato

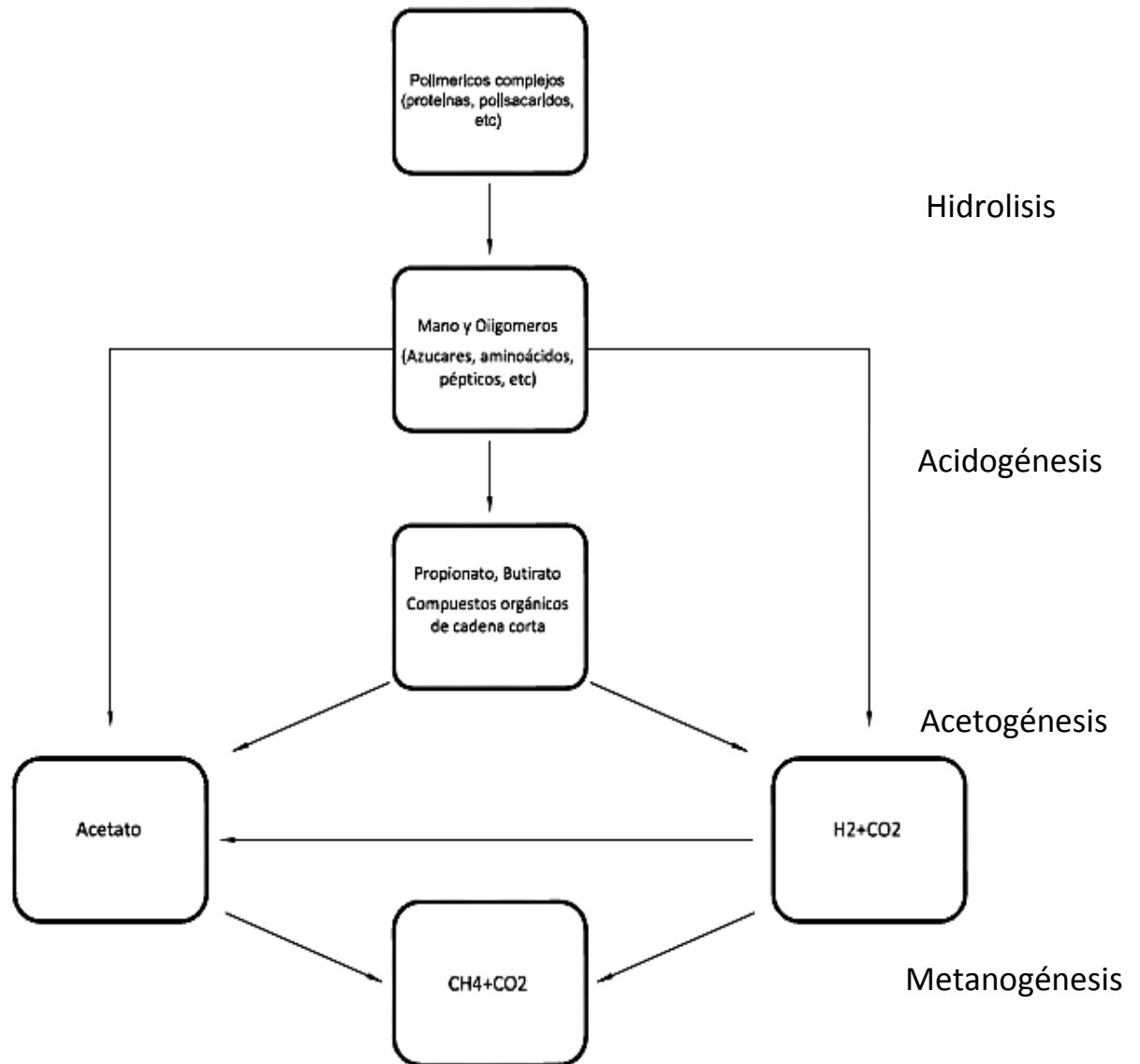


Figura 4

Fuente: Fundamentos básicos en la construcción de biodigestores

Hidrólisis

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos¹ orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

Etapas fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

Etapas acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H₂ y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH₃COO-) e hidrógeno (H₂), a través de las bacterias acetogénicas. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas.

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

Etapas metanogénica

Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización.

¹molécula sobre la que actúa una enzima.

Factores determinantes en el proceso metanogénico (producción de biogás)

Algunos elementos importantes que dominan el proceso metano génico son los microorganismos, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales. Es posible el desempeño de un sistema anaeróbico en función de la tasa de producción de metano, porque la metanogénesis se considera un paso limitante del proceso. Debido a esto, la biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales. Algunas de estas condiciones ambientales son: temperatura, tipo de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH, toxicidad y condiciones redox óptimas. Estas condiciones se discuten a continuación:

Naturaleza y composición bioquímica de materias primas.

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros.

Residuos de origen animal	Estiércol, orina, residuos de matadero (sangre y otros), residuos de pescado, etc.
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Heces, basura, orina
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, cosetas, malezas, residuos de semilla
Residuos Forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas, jacintos, malezas acuáticas

Origen de residuos orgánicos

Tabla N°1

Fuente: manual de biogás

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles 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.

La degradación o descomposición de la materia orgánica es compleja y difícil de tratar en detalle, todos los problemas que se presentan. Simplificando esta situación, las fuentes carbonadas más utilizadas por los microorganismos

quimiotróficos son los glúcidos o carbohidratos y de éstos compuestos orgánicos, principalmente las hexosas, las cuales son degradadas por diferentes vías metabólicas. Los fragmentos que alimentan estos procesos cíclicos, por una parte, dan origen a cadenas carbonadas que participan en la formación de nuevas células microbianas y, al mismo tiempo, son usados en las oxidaciones y reducciones biológicas que están ligadas a la síntesis de moléculas ricas en energía. Si estos procesos tienen lugar en un medio con niveles de oxígeno ilimitado, corresponden a procesos de oxidación biológica o respiración aeróbica con desprendimiento de CO₂ y de energía equivalente a la mineralización total del substrato orgánico utilizado por los microorganismos. Si por el contrario, el nivel de oxígeno en el sistema es bajo, determinando condiciones anaeróbicas, corresponde a procesos de reducción biológica o fermentaciones. En este caso, la liberación de energía y desprendimiento de CO₂ son menores que la obtenida en la respiración aeróbica. Además según el tipo de fermentación se desprenden otros gases como metano (CH₄), hidrógeno, o producción de otros compuestos como alcoholes, ácidos orgánicos, entre otros. (Tabla 2)

Compuesto orgánico	Formula química	Biogás	CH ₄
Carbohidratos	C ₆ H ₁₀ O ₅	0.75	0.37
Lípidos	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1.44	1.44
Proteínas	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	0.98	0.49

Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos

Fuente: manual de biogás

Tabla N°2

Productos finales de la digestión anaeróbica

Los principales productos del proceso de digestión anaeróbica, en sistemas de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás y un bioabono que consiste en un efluente¹ estabilizado.

Biogás

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

Características Generales Del Biogás	
Composición	55-70 % metano (CH ₄) 30-45 % dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido Energético	6.0-6.5 KWh m ⁻³
Equivalente de Combustible	0.60-0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de Explosión	6-12 % de biogás en el aire
Temperatura de Ignición	650-750 °C (con contenido de CH ₄ mencionado)
Presión Crítica	74-88 atm
Temperatura Crítica	-82.5 °C
Densidad Normal	1.2 Kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el biogás desulfurado es imperceptible)
Masa Molar	16.043 Kg Km ⁻¹

Características generales del biogás

Fuente: manual de biogás

Tabla N°3

Bioabono

Es un fertilizante líquido con todas las características de los abonos orgánicos que reemplaza con ventaja los abonos químicos y que además proporciona al suelo una serie de efectos beneficios para sus características físicas, químicas y biológicas.

¹ Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias.

Uso del biogás

Principios de la combustión

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química:



El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio abanico de equipos descomponiéndose, principalmente, en CO_2 y H_2O .

Energía equivalente (valor energético) biogás Vs otras fuentes					
Valores	Biogas	Gas natural	Gas propano	Gas metano	Hidrogeno
Valor calorífico (Kwh/m3)	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m3)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico del aire (m3/m3)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

Valor energético del biogás Vs otras fuentes

Fuente: manual de biogás

Tabla N°4

Aplicaciones del biogás

Producción de calor o vapor

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.

Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás.

Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad

Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones.

Combustible para vehículos

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

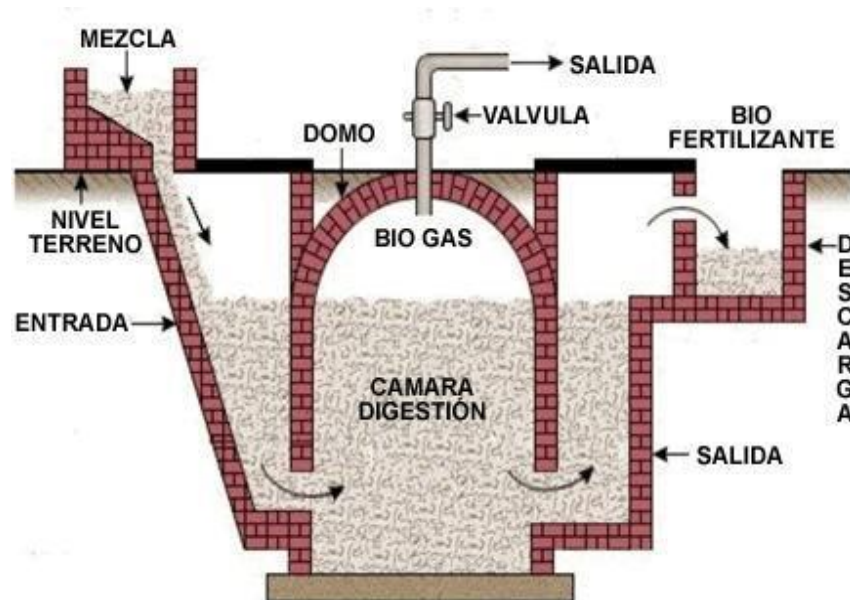
Biodigestor

Toman su término de digestivo o digestión, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable dentro del cual se deposita el material orgánico que para convertirlas en subproductos aprovechables, en este caso gas metano y abono, comúnmente se los denomina Biodigestores. El principio básico de funcionamiento es el mismo que tienen todos los animales, descomponer los alimentos en compuestos más simples para su absorción mediante bacterias alojadas en el intestino con condiciones controladas de humedad, temperatura y niveles de acidez.

Partes de un biodigestor:

1. Cámara de digestión. Es la parte central del biodigestor o fermentador. Aquí ocurren los procesos bioquímicos que transforman la carga o materia orgánica en biogás y bioabonos. Puede ser de ladrillo, hormigón, hormigón armado, plástico u otro material que asegure las condiciones requeridas de resistencia e impermeabilidad.
2. Cámara de gas o gasómetro. Es la parte del sistema donde se almacena el biogás producido durante la fermentación, por lo que debe construirse a prueba de fugas. Los gasómetros pueden ser:

3. Alimentación o entrada de la materia orgánica (sistema de carga). Permite la alimentación del biodigestor. En algunos casos se diseña para permitir la homogenización del material de carga, y a la vez se pueda realizar el control de sólidos totales y pH del sustrato.
4. Salida del efluente (sistema de descarga). Su función es garantizar la descarga del líquido (biol) o de los lodos digeridos (biosol) para su posterior utilización como abonos orgánicos. Debe estar más abajo del nivel de carga, para facilitar su salida por diferencia de presión hidráulica
5. Salida del biogás: su función es proporcionar al biogás camino de escape directo hacia su utilización, debe colocarse en la parte superior del biodigestor.



Partes de un biodigestor

Fuente: Componentes de un biodigestor

Figura 5

Capítulo 1

Desarrollo Teórico



Elaboración de los Biodigestores:

Tipos de biodigestores:

Biodigestores de flujo discontinuo

La carga de la totalidad del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar del proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas (debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante el proceso, teniendo su pico en la fase media de este) o fuentes alternativas para suplirlo.

Ventajas de los Biodigestores discontinuos:

- Pueden procesarse una gran variedad de materiales.
- La carga puede juntarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no entorpece la operación del biodigestor.
- Admiten cargas secas que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.
- Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica.
- No requiere prácticamente ninguna atención diaria.

Las principales desventajas son:

- La carga requiere un considerable y paciente trabajo.
- La descarga, también es una operación trabajosa.

Biodigestores de Flujo Continúo

La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches (ej. una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua).

Ventajas:

- Permite controlar la digestión, con el grado de precisión que se quiera.
- Permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, en cuanto es destacada.
- Permite manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura, a periodos son del orden de 10 años.
- La tarea de “puesta en marcha”, después del inicial, sólo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento.
- Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren ninguna operación especial.

Inconvenientes:

- La baja concentración de sólidos que admiten.
- No poseer un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso específico sea menor que el del agua.
- Problemas de limpieza de sedimentos, espuma e incrustaciones.

Puesto que nuestro objetivo principal es demostrar la efectividad de la pulpa de café de producir energía eléctrica, a través de la producción de biogás, fue necesario la mezcla con otras sustancias pero sin dejar que la pulpa sea la sustancia principal. Para poder cumplir con nuestro objetivo fue necesario llevar a cabo dos muestras de mezclas, para compararlas entre ellas y comprobar la eficiencia de la pulpa de café, una será compuesta en un 60% por pulpa de café, la segunda será apenas del 20% de la mezcla, de esta manera podrá compararse la eficiencia de la producción de biogás debido a la pulpa de café.

Para el cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica se hará el cálculo que a continuación se expone, posteriormente fue necesario utilizar la fórmula de relación de Carbono Nitrógeno, la cual se explicara más adelante.

Lugar escogido para la elaboración de los biodigestores.

Se encontraban a disposición 2 lugares donde podía llevarse a cabo la elaboración de los biodigestores, sin embargo el principal factor determinante de la ubicación fue la temperatura, pues este a su vez determinaba el tiempo de fermentación necesario para alcanzar la óptima producción de biogás.

Los lugares a disposición fueron los siguientes:

- Matagalpa: Ubicada a 140 Km al norte de Managua, su temperatura oscila entre los 16° y 25°C.
- Masaya: Ubicada a 28 Km de la ciudad de Managua, su temperatura oscila entre los 27° y 27.5°C

Tomando en cuenta lo expuesto en la Tabla N°7, es necesario optar por la opción N°2, puesto que el tiempo de fermentación es el necesario para llevar a cabo la parte experimental del proyecto en el tiempo establecido, al mismo tiempo de elegir las otras localidades, para aumentar la eficiencia del sistema, el efluente debe ser calentado, pero esto presentaría mayores inconvenientes en el tiempo de producción del biogás.

Cálculo de la cantidad de materia orgánica a utilizar

Puesto que existieron retrasos respecto a la obtención de la materia prima principal (pulpa de café) fue necesario hacer cálculos que se aproximaran lo mejor posible a la cantidad necesaria para lograr el funcionamiento del motor en prueba, para esto nos apoyamos de documentos previamente mencionados en los antecedentes, acerca del rendimiento en la generación de biogás de la pulpa del café.

Según datos obtenidos, tenemos que:

Autores	Datos obtenidos
Chacón, V.; Fernández, J.L. 1984,	196 ml de biogás x Kg de pulpa
Stainer, R. 2011.	380 ml de biogás x Kg de pulpa
Swiss Federal Office of Energy. s.f.	380 ml de biogás x Kg de pulpa

Producción de biogás según posteriores estudios

Fuente: propia

Tabla N°5

Por tanto se ha tomado el de menor valor para tratar de compensar posibles errores o desviaciones en dichas medidas.

Para proseguir con el cálculo, es necesario tener en cuenta la cantidad de combustible que consume el motor, para lo que a continuación se exponen los datos técnicos de este.

Datos Técnicos del Motor:

MODELO: ET 950	
GENERADOR	
Tipo	2 tiempos
Tensión	120 vAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia nominal	0,8 kVA
Potencia máxima	0,96 kVA
Salida de CC	12V - 8,3A
MOTOR	
Tipo	MT65; 2 tiempos, enfriado por aire
Cilindrada	63 cc
Sistema de arranque	Manual
DATOS GENERALES	
Largo x Ancho x Alto	365 x 308 x 376 (mm)
Peso seco	20 kg
Combustible	Mezcla (gasolina: aceite=50:1)
Capacidad del depósito de combustible	4,2 lt
Autonomía	5 h

Datos técnicos
Fuente: hoja de datos del motor

Tabla N°6

Posteriormente se procederá a hacer el cálculo aproximado de la cantidad de materia prima necesaria para hacer funcionar el motor con una simple regla de 3:

$$Lbs\ de\ pulpa\ de\ cafe = \frac{1Kg_{pulpa} \times 4100\ ml}{196\ ml} = 20.9Kg_{pulpa} \approx 50\ lbs$$

De forma teórica el motor lograra funcionar con aproximadamente 50 lbs de pulpa de café, sin embargo no se tomara el 100 % de las 50 lbs de la pulpa de café puesto que a como se mencionó antes para mejorar el rendimiento, es necesaria la combinación con otras sustancias que en nuestro caso serían los siguientes elementos:

Temperatura

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica, además de que define las zonas en donde el proceso puede llevarse a cabo ya sea por la latitud y/o la altura, siendo también el que puede aumentar la eficiencia del sistema

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos que se muestran en la siguiente tabla

Rangos de Temperatura y Tiempo de Fermentación Anaeróbica				
Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo	Tiempo de Fermentación
Psycrophilica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Rangos de temperatura y tiempo de fermentación

Fuente: manual de biogás

Tabla N°7

La temperatura del proceso actúa también sobre aspectos físico-químicos del mismo, puesto que afecta el tiempo de retención para la digestión y degradación del material dentro del biodigestor, la degradación se incrementa de forma geométrica con los aumentos de la temperatura, además se incrementa la producción de gas.

Valor de pH

El valor óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5-7.5, cuando baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo.

Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. Los acidogénicos son significativamente menos sensibles a valores más extremos de pH.

Relación C: N

A como se explicó anteriormente, existen estudios posteriores acerca de la digestión anaeróbica del café, como el presentado por CENICAFE, el cual plantea los siguientes obstáculos para utilizar la pulpa de café como productor eficiente de biogás:

1. Alto porcentaje de material difícilmente biodegradable (linginas y celulosas)
2. Durante el proceso de la fermentación la pulpa se acidifica llegando a tener un pH de 4 a 5.5.
3. La pulpa en si no contiene una gran cantidad de población bacteriana metanogénica, responsables de la descomposición de la materia para la producción de gas.
4. Los costos en la construcción de una planta de digestión anaeróbica implica altos costos de inversión.

Como solución ya mencionada con anterioridad, es necesario la mezcla de la pulpa con otras sustancias para optimizar su proceso de degradación, para ello es necesario combinar proporciones adecuadas de material con bajo y alto rendimiento, entre los criterios para la selección de las sustancias que se colocarían junto a la pulpa de café, fue el porcentaje de carbono que contienen, pues las sustancias ricas en carbono (paja y tallos) producen mayor cantidad de gas que las ricas en nitrógeno, sin embargo la producción de gas es más rápida en sustancias nitrogenadas (excretas).

Existen muchos criterios referentes a esta relación, sin embargo, se reconoce como aceptable una relación de 20-30:1, menores a 25:1, tienen una mejor velocidad de fermentación, en cambio una mayor a 30:1, tiene una mayor producción de gas pero a una velocidad mucho más lenta.

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes.

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1.

La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

Sobre la base del contenido de carbono y de nitrógeno de cada una de las materias primas (Tabla 3) puede calcularse la relación C/N de la mezcla aplicando la siguiente formula (1):

Materias primas	Contenido de carbono de las materias primas por peso (%)	Contenido de nitrógeno de las materias primas por peso (%)	Relación carbono a nitrógeno
Paja seca de trigo	46	0.53	87:1
Paja seca de arroz	42	0.64	67:1
Tallo del maíz	40	0.75	53:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Estiércol de aves	41	1.30	32:1
Pasto	14	0.54	27:1
Cacahuets tallos y hojas	11	0.59	19:1
Estiércol fresco de oveja	16	0.55	29:1
Estiércol fresco de vaca	7.3	0.29	25:1
Estiércol fresco de caballo	10	0.42	24:1
Estiércol fresco de cerdo	7.8	0.60	13:1
Excretas frescas humanas	2.5	0.85	2.9:1
Pulpa de café	32	1.6	20:1

Relación carbono nitrógeno de las materias primas empleadas comúnmente

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores

Tabla N°8

La fórmula está dada a como sigue:

$$K = \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots}{N_1X_1 + N_2X_2 + N_3X_3 + \dots} = \frac{\sum C_iX_i}{\sum N_iX_i}$$

Donde:

- C: porcentaje de carbono en la materia de la materia prima
- N: porcentaje de nitrógeno en la materia de la materia prima
- X: peso de la materia prima
- K: C/N de la mezcla de las materias primas

Mezclas utilizadas en el experimento

Mezcla N°1

Materia prima	Contenido de C %	Contenido de N %	Relación C/N %	Peso lbs
Excremento de vaca	7.3	0.29	25:1	10
Excremento de cerdo	7.8	0.60	13:1	10
Pulpa de café	32	1.6	20:1	30

Datos de la Mezcla N°1

Fuente: propia

Tabla N°9

Los pesos o masas respectivas de cada sustancia primaria, fueron distribuidos en base a estudios posteriores presentados por CENICAFE, tratando de establecer una distribución lo más semejante, en el cual para la combinación de la pulpa con tan solo un elemento fue, 80% de pulpa de café, 10% de estiércol de vaca y 10% de estiércol de cerdo.

Utilizando la fórmula 1 tenemos que:

$$K = \frac{(32 \times 30) + (7.8 \times 10) + (7.3 \times 10)}{(1.6 \times 30) + (0.60 \times 10) + (0.29 \times 10)} = 20$$

Como se puede apreciar, utilizando las medidas propuestas, se alcanza una relación C: N de 20:1, y como se mencionó antes, esta es aceptable.

Mezcla N°2

Posteriormente para el segundo biodigestor con el cual se llevaría a cabo la comparación de su rendimiento con el de mayor contenido de pulpa, la relación C: N y la distribución de la masa de las materias primarias se hizo de la siguiente manera:

Materia prima	Contenido de C %	Contenido de N %	Relación C/N %	Peso lbs
Excremento de vaca	7.3	0.29	25:1	20
Excremento de cerdo	7.8	0.60	13:1	20
Pulpa de café	32	1.6	20:1	10

Datos de la Mezcla N°2

Fuente: propia

Tabla N°10

En este caso, simplemente se trató de dejar a la pulpa, como la materia menor influyendo dentro del proceso de biodigestión, resultado ocupar únicamente el 20%, y las otras dos sustancias, el 40% respectivamente.

$$K = \frac{(32 \times 10) + (7.8 \times 20) + (7.3 \times 20)}{(1.6 \times 10) + (0.60 \times 20) + (0.29 \times 20)} = 18.5$$

De forma teórica, podría establecerse que la reducción de pulpa, resultaría en un posible riesgo de que el proceso de biodigestión no se realice de forma adecuada.

Capítulo 2

Elaboración de Biodigestor

Y

Modificaciones al Motor



Construcción Física de los Biodigestores:

Debido al corto tiempo para la realización de los biodigestores, se optó por realizar un sistema de flujo constante, cuyas ventajas y desventajas fueron ya mencionadas con anterioridad, de igual manera durante el proceso de experimentación, se realizaron 5 biodigestores de los cuales 3 fueron desechados en la primera prueba por presentar graves problemas de filtración que no pudieron ser solucionados, finalmente solo se volvieron a hacer 2 más, ambos con iguales pesos, sin embargo con las combinaciones de elementos primarios ya mencionadas antes.

Materiales utilizados para la construcción de los biodigestores:

Equipo o Material	cantidad	Imagen
Planta eléctrica Honda Modelo: 950 Rango de potencia de salida: 650-750 w	1	
Adaptador para la entrada de biogás al motor	1	
Recipiente de almacenamiento de liquido	2	
Medidor de PH 600	1	

Adaptadores PVC macho	20	
Adaptadores PVC hembra	20	
Llave de pase plástica	4	
Llave de paso de 1/2" metálica	4	
Pega PVC	2	
Tubo PVC 1/2	1	
Teflon	3	
Codo PVC 1/2 con rosca	2	
T PVC 1/2	2	
Manguera para gas (por yarda)	5	
Reductor o conector de 3/2 a 1/2	6	
Adaptador MAKITA	1	
Sierra Copa	1	

Materiales para construir los biodigestores

Tabla N°11

Proceso de Construcción:

Primeramente, se llevó a cabo la modificación de los barriles que contendrían las sustancias primarias. Las modificaciones fueron las siguientes:

- Se realizaron dos salidas en los barriles, uno de ellos serviría como salida del efluente, este se encontrará ubicado en la parte inferior (figura 6 B) del biodigestor para evitar fugas al momento de la extracción de efluentes para su debida medición de pH. En la parte superior de las tapas de los barriles se colocará la salida para el biogás (Figura 6), ambas salidas serán controladas a través de llaves de paso.



Llaves de paso

Figura 6 A



Partes de un biodigestor

Figura 6 B

- Posteriormente una vez colocadas las llaves, deberán sellarse lo mejor posible para evitar fuga de gas, esto se llevó a cabo con tapa goteras Masilla Elastomérica Impermeabilizante.
- Una vez secada la masilla se coloca en el interior de cada biodigestor los materiales orgánicos a mezclar.



Pulpa de café almacenada

Figura 7



Pesado de la pulpa de café

Figura 8



Colocación de materia orgánica en biodigestor

Figura 8 A



Colocación de materia orgánica en biodigestor

Figura 8 B



Colocación de materia orgánica en biodigestor

Figura 8 C



Colocación de materia orgánica en biodigestor

Figura 8 D

- A continuación se sellaba la tapa puesto que el biodigestor elaborado sería de flujo continuo, quedando de la siguiente forma.

Donde:

1. Salida para el biogás
2. Entrada de la materia orgánica
3. Cámara de gas
4. Cámara de digestión
5. Salida del efluente
6. Manguera de gas



Biodigestores Terminados

Figura 9

- Finalmente se elabora la pieza con un codo y un adaptador de 3/8 a 1/2 para llevar de la llave de paso que sirve de regulación para la salida del biogás hacia el motor.



Conexión entre los biodigestores y adaptador

Figura 10

Medición de pH

Las mediciones de pH se realizaron de forma periódica, con un distanciamiento de una semana aproximadamente a partir de la introducción de las sustancias primarias en los respectivos biodigestores, e igual distanciamiento entre las 5 tomas de muestra que se realizaron.

A continuación se muestra un calendario con las respectivas fechas de las tomas de muestra:

2014

2014	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L
EN	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°	°
FB	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	°	°	°
MA	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
AB	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	°	°	°	°	
MY	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°
JN	°	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
JL	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°	°	°
AG	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°
SP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	°	°	°	°	°	
OC	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°	°
NV	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	°
DC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°	°	°	°

Calendario de las toma de muestras de pH

Fuente: propia

Tabla N°12 A

2015	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L
EN	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°
FB	°	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	°	°
MA	°	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AB	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	°	°	°	°
MY	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°
JN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	°	°	°	°	°	
JL	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°	°
AG	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
SP	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	°	°	°	°	°
OC	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°
NV	°	°	°	°	°	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DC	°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	°	°	°	°

Calendario de las toma de muestras de pH

Fuente: propia

Tabla N°12 B

Donde:

Producción de biogás		Tiempo de fermentación
		Elaboración de los 3 primeros biodigestores
		Elaboración de los 2 últimos biodigestores
		Toma de muestra de pH fallida
		Toma de muestra de pH exitosa
		Recolección de materias primas
		Introducción de materias primas en los biodigestores
		Experimentación del biogás con el motor

Como se indica en la leyendas de los calendarios de medición, las realizadas en el mes de diciembre no fueron exitosa, puesto que fueron realizadas en los 3 primeros biodigestores que ya se han mencionado con anterioridad, por tanto los datos reflejados son los que verdaderamente se utilizaron para la experimentación con el motor, que son los siguientes.

A continuación se muestra de forma esquematizada los resultados obtenidos de las mediciones:

Resultados de Medición de pH			
Medición N°	Fecha	Datos obtenidos	
		Biodigestor 1	Biodigestor 2
1	18/01/2015	3.2	3.8
2	25/01/2015	4.5	4.8
3	01/02/2015	4.9	5.1
4	08/02/2015	5.1	5.5
5	15/02/2015	5.9	6.2

Resultados de las tomas de muestras de pH

Fuente: propia

Tabla N°13

Las fotografías de las mediciones se encuentran en el anexo N°4

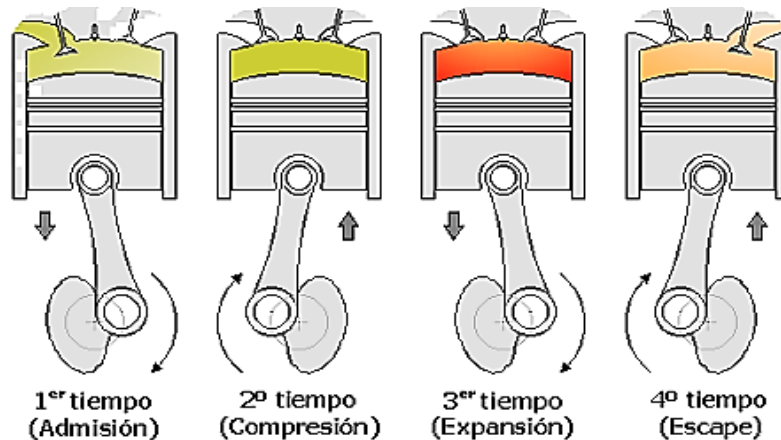
Modificaciones llevadas a cabo al motor

Para la experimentación y comprobación de que el biogás producido a partir de la pulpa de café, puede ser una gran alternativa en la generación de energía eléctrica, es necesario comprobarlo con un motor de gas, sin embargo debido a sus elevados costos, fue necesario modificar un motor-generator de gasolina de dos tiempos. Debido a que el funcionamiento del motor a gasolina y el motor de gas tienen un principio de funcionamiento muy similar, las modificaciones únicamente se realizaron en la forma de inyectar el combustible a la cámara de combustión.

Principio de funcionamiento del motor de gasolina de 2 tiempos

El motor de dos tiempos o motor de ciclos, este motor de combustión interna realiza las cuatro etapas del ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en dos movimientos lineales del pistón (una vuelta del cigüeñal), a diferencia del más conocido, el motor de cuatro tiempos de ciclo de Otto realiza las cuatro etapas en dos revoluciones del cigüeñal.

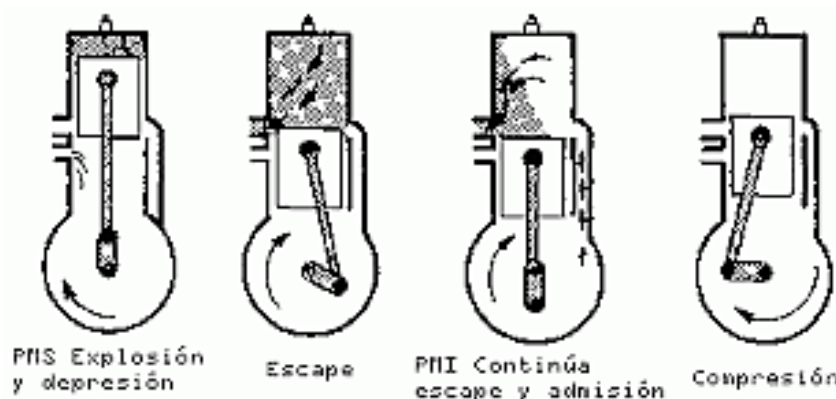
En un motor 2 tiempos se produce una explosión por cada vuelta de cigüeñal mientras que en un motor 4 tiempos se produce una explosión por cada dos vueltas de cigüeñal, lo que significa que a misma cilindrada se genera mayor potencia, pero también un mayor consumo de combustible.



Ciclo de 4 tiempos

Fuente: enciclopedia libre Wikipedia*

Figura 11



Ciclo de 2 tiempos

Fuente: Así funciona*

Figura 12

Combustión interna del motor de gas

El gas natural como carburante, se usa en los motores de combustión interna al igual que se utilizan los carburantes líquidos como la gasolina o el diésel.

En la cámara de combustión tiene lugar la combustión de gas y aire mezclados. Tienen forma cilíndrica y en su interior existe un pistón móvil que realiza la aspiración del combustible y el aire por un extremo mientras que por el otro extremo cede la energía desprendida en la combustión al eje motor mediante un sistema biela-manivela.



Combustión interna del motor

Fuente: Así Funciona*

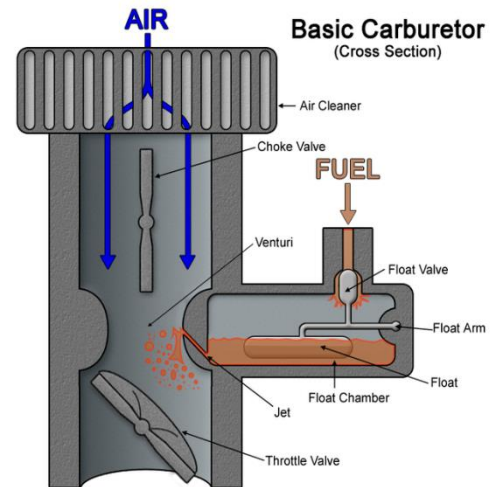
Figura 13

Como se ha mencionado, el proceso de combustión en ambos motores es el mismo, únicamente cambia el tipo de combustible y por consiguiente la forma de inyección de este, por tanto las modificaciones se realizaran en el carburador.

El carburador

El carburador es el dispositivo que se encarga de preparar la mezcla de aire-combustible en los motores de gasolina. A fin de que el motor funcione más económicamente y obtenga la mayor potencia de salida, es importante que la gasolina esté mezclada con el aire en las proporciones óptimas.

El carburador opera básicamente con el mismo principio de un pulverizador de pintura. Cuando el aire es soplado, cruzando el eje de la tubería pulverizadora, la presión interior de la tubería cae. El líquido en el pulverizador es por consiguiente aspirado dentro de la tubería y atomizado cuando es rozado por el aire. Mientras mayor sea la rapidez del flujo de aire que atraviesa la parte superior de la tubería de aspiración, mayor es la depresión en esta tubería y una mayor cantidad de líquido es aspirada dentro de la tubería.



Partes del carburador

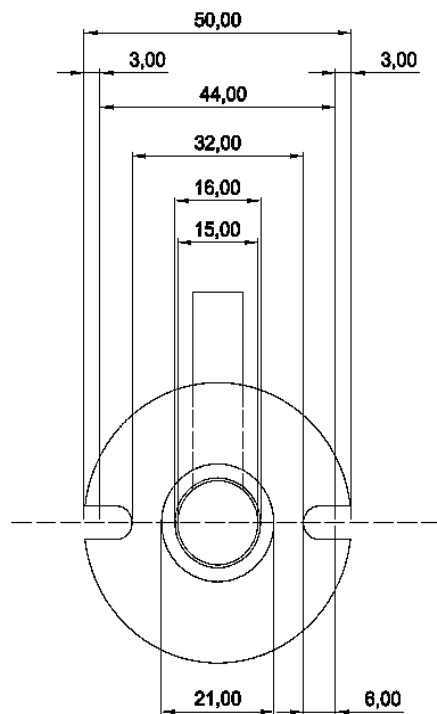
Fuente: La enciclopedia libre Wikipedia*

Figura 14

Modificaciones al carburador.

La modificación al carburador consistió en realizar una entrada al gas, de forma que no se mezclara con la gasolina, y al mismo tiempo que no fuese necesario bloquear de forma permanente la entrada de este, es decir si se deseara simplemente cambiar la forma de alimentación, esto pudiese realizarse de forma simple.

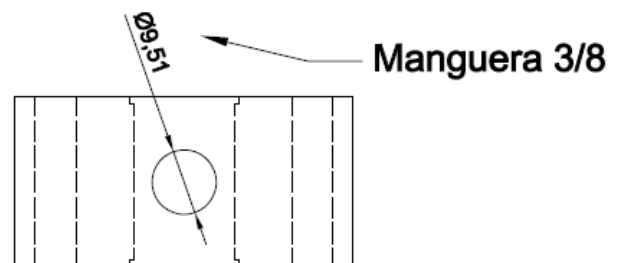
Esto se logró diseñando una pieza con la siguiente forma y dimensiones:



Vista de frente

Fuente: propia

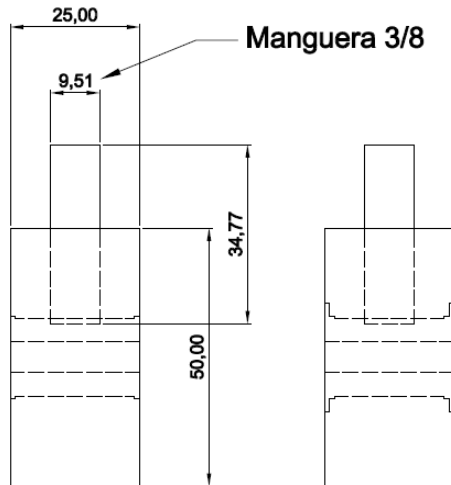
Figura 15



Vista de Planta

Fuente: propia

Figura 15



Vista de perfil

Fuente: propia

Figura 15

Estas dimensiones posteriormente presentadas se basan en el tamaño del carburador propio del motor y de la entrada del paso de la gasolina al motor, a continuación se mostraran las medidas de este:



Carburador

Fuente: propia

Figura 16 A

Carburador

Fuente: propia

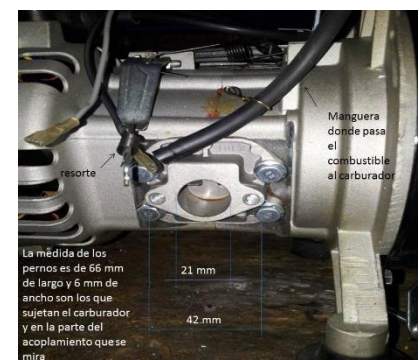
Figura 16 B



Carburador

Fuente: propia

Figura 16 C



Finalmente la pieza terminada quedara de la siguiente manera:



Adaptador para la entrada del gas

Fuente: propia

Figura 17 A

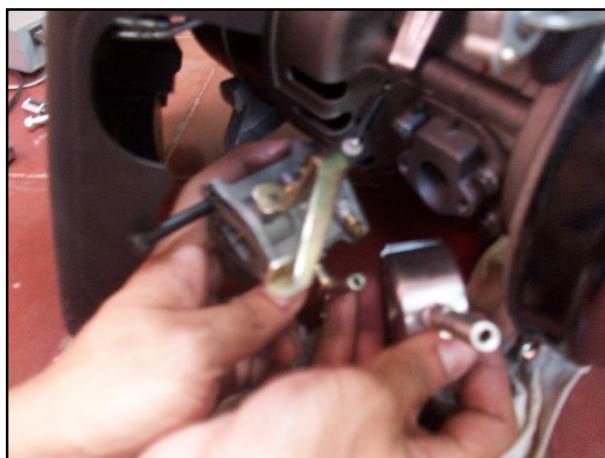


Adaptador para la entrada del gas

Fuente: propia

Figura 17 B

A continuación se muestra su ubicación entre el carburador y la entrada del combustible al motor, una vez terminada.



Colocación del adaptador

Fuente: propia

Figura 18 A



Colocación del adaptador

Fuente: propia

Figura 18 B



Colocación del adaptador

Fuente: propia

Figura 18 C

En el anexo N°1 se muestran otras imágenes referente al adaptador.

Capítulo 3

Análisis de resultados



Análisis Financiero

Para determinar el desempeño, rentabilidad y capacidad de producción de energía eléctrica por medio de biogás, el análisis se basa en la producción de pulpa de café del beneficio húmedo “El hacha”, la cual lleva este particular nombre por la forma del terreno que es igual a esa herramienta rústica de trabajo, conocida anteriormente como finca cafetalera San Luis, esta se ubica en el Km 46 ½ de la carretera San Marcos-Jinotepe, posee una extensión de seis manzanas de longitud.

Las actividades que se realizan en este beneficio húmedo son el lavado, despulpado y clasificación del café que se cosecha en las haciendas de Carazo, Masatepe, el volcán Mombacho y en las laderas del municipio de El Crucero, fue adquirido en el año 2008 mediante una solicitud realizada por Sate Street (Enicasa y Sajonia), el consejo de la ciudad de Jinotepe, Mareña, INAFOR (instituto Nacional Forestal) avalaron y aprobaron esta inversión debido al déficit de beneficios alternativos en la franja del pacífico, ya que con un total de 34 beneficios existentes desde 1984, a la fecha solo funcionan 3, entre ellos “El Hacha”.

Diseño del Biodigestor

Parámetros de Diseño

Para el diseño del sistema se tomaron en cuenta parámetros como la carga instalada y la cantidad de pulpa que se produce por día en el beneficio.

Carga instalada

Los datos para presentar las tablas de las cargas instaladas fueron proporcionados por el administrador del beneficio húmedo.

La mayor carga se ubica en el proceso del despulpado y lavado del fruto del café. Este proceso tiene una duración de 6 meses iniciando normalmente entre Septiembre y Octubre finalizando en el mes de Abril (tiempo de cosecha). El censo de carga se dividió en 2 bloques, el bloque A que abarca únicamente los motores con los que se llevan a cabo todos los procesos aplicados al fruto del café hasta dejar únicamente el grano limpio. El bloque B abarca las cargas localizadas en las oficinas.

Bloque A

N°	cantidad	Descripción	Voltaje (V)	Potencia/unidad (Kw)	P total (Kw)	Horas de uso kw/h	Consumo en el día Kw/h	Consumo al mes Kw/h-mes
1	3	Motor 10 Hp	480	7.5	22.5	16	360	10800
2	3	Motor 7.5 Hp	480	5.59	16.77	16	268.32	8049.6
3	1	Motor 5 Hp	480	3.72	3.72	16	59.52	1785.6
4	5	Motor 3Hp	480	2.23	11.15	16	178.4	5352
5	4	Motor 2Hp	480	1.49	5.96	16	95.36	2860.8
6	2	Motor 1 Hp	480	0.74	1.48	16	23.68	710.4

Bloque de Carga A

Fuente: propia

Tabla N°14A

Bloque B

N°	cantidad	Descripción	Voltaje (V)	Potencia/unidad (Kw)	Ptotal (Kw)	Horas de uso Kw/h	Consumo en el día Kw/h	Consumo al mes Kw/h-mes
1	28	Luminarias Tipo Hongo	120	0.175	4.9	12	58.8	1764
2	32	Lámparas 2x90	120	0.09	2.88	8	23.04	691.2
3	14	Lámparas 2x40	120	0.04	0.56	8	4.48	134.4
4	8	Bujías Ahorrativas de 20	120	0.02	0.16	8	1.28	38.4
5	1	Cocina Eléctrica de 2 Quemadores	120	2.35	2.35	4	9.4	282
6	1	Cafetera	120	1	1	4	4	120
7	4	Computadoras de Escritorio	120	0.3	1.2	8	9.6	288
8	1	Impresora	120	0.013	0.013	8	0.104	3.12
9	1	Refrigeradora	120	0.265	0.265	16	4.24	127.2

Bloque de Carga B

Fuente: propia

Tabla N°14B

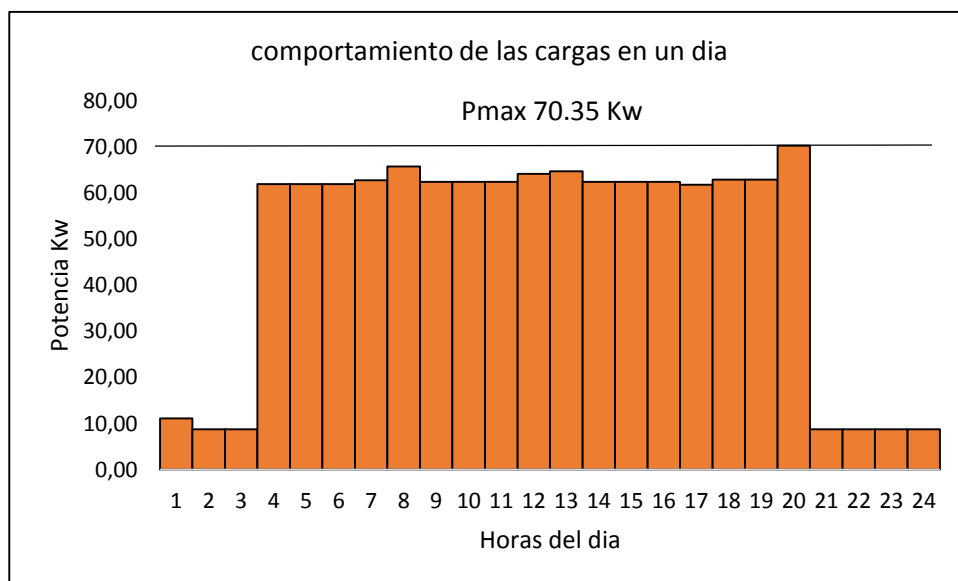
Consumo de energía de la finca

Actualmente la finca se encuentra alimentada por un banco de transformadores de 3X75 KW.

Para poder obtener el consumo eléctrico del beneficio húmedo es necesario ver el comportamiento de las cargas en un día, el cual indica que la mayor carga de un día es de 70.35 KWh, a como se indica a continuación.

Tarifa utilizada por la empresa:

Actualmente según datos enviados por el beneficio húmedo, este cuenta con una tarifa T4, por tanto mensualmente en facturación eléctrica puede llegar a pagarse hasta C\$9,548.91168



Comportamiento de las cargas en un día

Fuente: propia

Figura N°19

	Cargas (Kw)															Σ P/h (KW)
Horas	Motor 10 H	Motor 7.5	Motor 5 H	Motor 3H	Motor 2H	Motor 1 H	Luminaria	Lamparas	Lamparas	bujias ah	cocina el	cafetera	computad	impresora	refrigeradora	
1							4.9	2.88	0.56	0.16	2.35				0.265	11.115
2							4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	8.765
3							4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	8.765
4	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48				0.16					0.265	62.005
5	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48				0.16					0.265	62.005
6	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48				0.16					0.265	62.005
7	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48						1			0.265	62.845
8	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48					2.35	1	0.6	0.01395	0.265	65.80895
9	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48							0.6	0.01395	0.265	62.45895
10	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48							0.6	0.01395	0.265	62.45895
11	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48							0.6	0.01395	0.265	62.45895
12	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48					2.35				0.265	64.195
13	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48					2.35		0.6	0.01395	0.265	64.80895
14	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48							0.6	0.01395	0.265	62.45895
15	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48							0.6	0.01395	0.265	62.45895
16	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48							0.6	0.01395	0.265	62.45895
17	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48									0.265	61.845
18	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48				0.16		1			0.265	63.005
19	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48				0.16		1			0.265	63.005
20	22.5	16.77	3.72	11.15	5.96	1.48	4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	70.345
21							4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	8.765
22							4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	8.765
23							4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	8.765
24							4.9	2.88	0.56	0.16					0.265	8.765
															pmax	70.345

Comportamiento de las cargas en 1 día

Fuente: propia

Tabla N° 15

Cálculo del biodigestor con una capacidad de 100 m³

Volumen de pulpa de café, y cantidad de CH₄ producido en el beneficio húmedo el hacha:

Por temporada el beneficio recibe alrededor de 80 000 fanegas de fruto de café, donde de cada 100 lb de pulpa de café, entre 50 y 45 lb se obtienen de pulpa de café.

	Fanegas	Kg	Lb
Fruto recibido por temporada (6 meses)	80000.00	20320000.00	44797931.64
Fruto recibido por mes	13333.33	3386666.67	7466321.94
Fruto recibido por día	444.44	112888.89	248877.40

Fruto recibido de café

Fuente: propia

Tabla N° 16

De los datos anteriores tenemos que la pulpa obtenida es la siguiente:

	Kg	Lb
Pulpa recibido por temporada (6 meses)	10160000.00	22398965.82
Pulpa recibido por mes	1693333.33	3733160.97
Pulpa recibido por día	56444.44	124438.70

Pulpa de café recibida

Fuente: propia

Tabla N° 17

Según los datos obtenidos durante la experimentación, se calcula que el CH₄ obtenido será:

	Kg de CH ₄	g de CH ₄	m ³ de CH ₄	Lt de CH ₄
CH₄ obtenido en 30 lb de pulpa	0.0001	0.10 g de CH ₄	0.000139665	0.139664804
CH₄ obtenido en (6 meses)	74.66322	74663.2194	104.2782394	104278.2394
CH₄ por mes	12.44387	12443.8699	17.37970656	17379.70656
CH₄ por día	0.41480	414.7957	0.579323552	579.3235521

Biogás producido en el beneficio (calculado)

Fuente: propia

Tabla N° 18

CH₄ obtenido en el biodigestor de 100 m³:

La mezcla que se introducirá en el biodigestor es la que se presenta en la siguiente tabla, así mismo se presentara el volumen ocupada por cada sustancia que compone la mezcla.

Compuestos de la mezcla	% de masa	Materia Lb	Kg	m3
Estiércol de vaca	20%	44044.04	20020.02	20
Estiércol de cerdo	20%	44044.04	20020.02	20
Pulpa de café	60%	75428.57	34285.71	60
			Total	100.0000 m3

Compuesto de la mezcla para biodigestor de 100m³

Fuente: propia

Tabla N° 19

El CH₄ producido por el biodigestor de 100m³ es a como sigue:

Carga total	Kg de CH ₄	g de CH ₄	m3 de CH ₄	Lt de CH ₄
75428.57 Lb	0.251428571	251.4285714	0.351157223	351.1572227

CH₄ producido en el biodigestor de 100m³

Fuente: propia

Tabla N° 20

Energía suplida por el biodigestor:

	generación	consumo
Generador	1.00 Kw/h	0.62 m3 de CH ₄
Biodigestor	0.57 Kw/h	0.35 m3 de CH ₄

Generación de biodigestor en Kw/h

Fuente: propia

Tabla N° 21

Como se muestra en el cuadro anterior es posible cubrir 0.57 Kw/h, es decir el 0.4 % de la carga del bloque B, para esto es necesario utilizar el 0.34 % de la pulpa obtenida en los 6 meses, lo que realmente no representaría un ahorro significativo en la factura eléctrica.

Aclaraciones:

Como se puede observar la cantidad de pulpa se observa extremadamente grande, ocupando casi el 100% de la pulpa adquirida en toda una temporada, sin embargo tal cantidad se justifica de la siguiente manera:

- El objetivo principal de nuestra tesis no era la medición de la cantidad exacta de CH_4 producido durante la experimentación.
- Debido a lo anterior y a la falta de equipos adecuados para su medición, se registra una cantidad de CH_4 producido bastante pequeña, por lo que será necesaria con esta cantidad requerir mayor volumen de materia orgánica para alimentar un gran bloque de carga eléctrica.
- De igual manera ya que la cantidad de pulpa requerida basada en nuestros resultados de CH_4 resulta demasiado grande, no es posible realizar un cálculo realista del tamaño del biodigestor y los gastos que este podría conllevar.

Conclusiones

En conclusión hemos logrado demostrar que si es posible generar biogás a partir de la pulpa de café, no solo a través del experimento sino que también en base a estudios realizados posteriormente.

Se comprobó tanto de forma teórica como de forma experimental, que a través de una nueva metodología no empleada o al menos no registrada en estudios posteriores, como es la mezcla de la pulpa de café con otras sustancias (excremento de vaca y de cerdo) es posible optimizar su producción de biogás.

A partir de esto, se mostró que es posible tener un ahorro en el consumo de energía eléctrica en la factura eléctrica, aunque no completamente gratuita, ya que la pulpa de café es desperdiciada e inutilizada por dichas haciendas, sin embargo es necesaria la compra o el traslado a la finca de las otras materias orgánicas que han de componer la mezcla.

Finalmente también fue posible llevar a cabo la modificación de un motor cuya alimentación era exclusiva de gasolina para lograr alimentarlo de biogás, gracias a una pieza basada en diseños propios.

ANEXOS

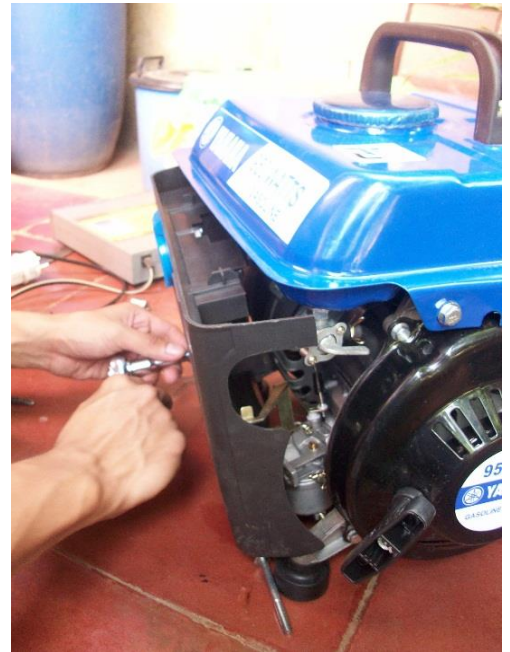


Anexo N°1

Fotografías referente a la modificación del motor.



Modificación del motor
Fuente: propia
Figura 19 A



Modificación del motor
Fuente: propia
Figura 19 B



Modificación del motor
Fuente: propia
Figura 19 C



Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 A



Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 B



Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 C



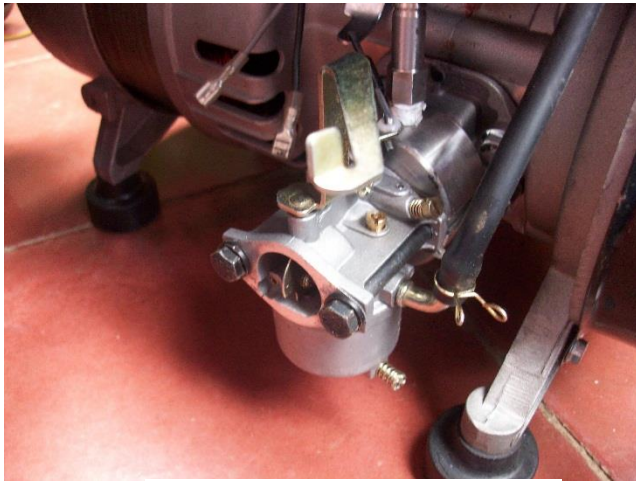
Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 D



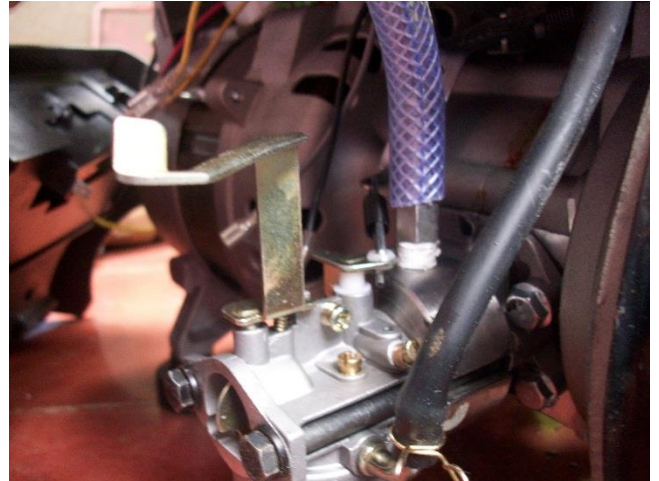
Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 E



Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 F



Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 G



Colocación del adaptador
Fuente: propia
Figura 20 H

Anexo N°2

Visita al Beneficio húmedo el Hacha



Camino hacia beneficio húmedo el Hacha

Fuente: propia

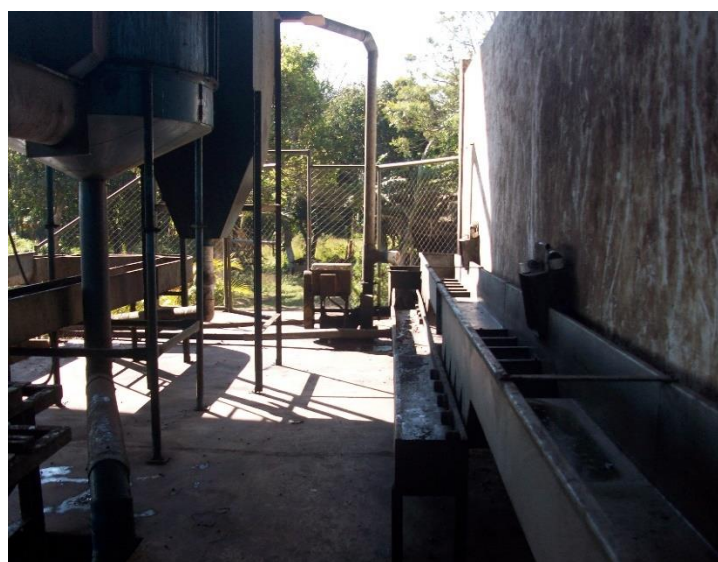
Figura 20



Entrada hacia beneficio húmedo el Hacha

Fuente: propia

Figura 21



Sección de motores para despulpado

Fuente: propia

Figura 22 A



Sección de motores para el despulpado

Fuente: propia

Figura 22 B



**Deposito inicial de las fanegas del
cerezo del café
Fuente: propia
Figura 23**



**Depósito de la pulpa de café
Fuente: propia
Figura 25**



**Camino hacia el depósito inicial de las fanegas
del cerezo del café y panel de motores
Fuente: propia
Figura 24**



**Depósito de la pulpa de café
Fuente: propia
Figura 26**



**Vista lateral del complejo para el despulpado
y lavado de la semilla de café**
Fuente: propia
Figura 27



**Almacenamiento del gramo del café
posterior al despulpado**
Fuente: propia
Figura 28



**Motor para re bombear el agua utilizada en
el despulpado del café**
Fuente: propia
Figura 29



**Complejo de canales para separar residuos de pulpa de la
semilla del café a través del agua**
Fuente: propia
Figura 30 A



Complejo de canales para separar residuos de pulpa de la semilla del café a través del agua
Fuente: propia
Figura 30 B



Almacenamiento de la segunda pasada del grano del café
Fuente: propia
Figura 31



Vista hacia el sector de secado natural del grano de café
Fuente: propia
Figura 32

Anexo N°3

AQL ENGINEERING BIOGAS EQUIPMENT forma parte del GRUPO AGUALIMPIA de Alemania. Empresa de ingeniería integral que diseña, construye y pone en marcha proyectos de aprovechamiento de biomasa a través de la construcción de biodigestores y plantas de biogás.

Somos proveedores de generadores de electricidad que funcionan con BIOGÁS. Nuestros generadores se adaptan a las necesidades de cada proyecto. Son generadores de alto rendimiento eléctrico, gran flexibilidad de operación, larga duración, bajo consumo de biogás. Tenemos potencias desde 6 kWe hasta 500 kWe. Podemos proveer también generadores de mayores capacidades de acuerdo a los requerimientos de nuestros clientes y sistemas de cogeneración CHP

La unidad escogida fue tomada del siguiente cuadro



ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERADORES DE 10 – 33 kW

	Standby(kVA)	10	16	25	25	30	33
	Model	AQL10	AQL16	AQL25	AQL25	AQL30	AQL33
standby power	kVA/kW	10/8.0	16/13.0	25/20	25/20	30/24	33/26
prime power	kVA/kW	9/7.0	15/12.0	22/18	22/18	28/22	30/24
frequency	Hz	60	60	60	60	60	60
rated voltage	V	480	480	480	480	480	480
brand							
Model motor	—	M-F10A	M-4Y	M-Isuzu 4JB1	M-4Y	M-Isuzu 4JB1T	M-4Y
displacement	L	1,051	2,237	2,771	2,237	2,771	2,237
speed	RPM	3.600	1.800	1.800	3600	1.800	3.600
starting method	—	electric start	electric start	electric start	electric start	electric start	electric start
cooling method	—	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled
brand alternator	—	Stamford	Leroy Somer	Leroy Somer	Stamford	Leroy Somer	Stamford
model	—	PI 042 D	LSA 40 VS2	LSA 40 M5	PI 042 G	LSA 42.3 VS1	PI 144 E
phase	—	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires
controller type	—	DS DSE7320	DS DSE7320	DP DSE7320	DS DSE7320	DS DSE7320	DS DSE7320
display	—	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
fuel	—	biogas	biogas	biogas	biogas	biogas	biogás
gas inlet pressure	kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa
dimension (open type)	mm*mm*mm	—	1400*710*920	1,500*600*980	1400*710*920	1,500*600*980	1400*710*920
net weight (open type)	kg	—	480	600	480	600	480
biogas consumption	m³/kW.h	0,65	0,65	0,64	0,64	0,62	0,60

Anexo N°4

Mediciones de pH



Medición de pH 1
Fuente: propia
Figura 33A



Medición de pH 1
Fuente: propia
Figura 33B



Medición de pH 2
Fuente: propia
Figura 34A



Medición de pH 2
Fuente: propia
Figura 34B



Medición de pH 3
Fuente: propia
Figura 35A



Medición de pH 3
Fuente: propia
Figura 35B



Medición de pH 4
Fuente: propia
Figura 36A



Medición de pH 4
Fuente: propia
Figura 36B

Anexo N°5

Tabla de Conversiones

Tabla de conversiones			
1.00 Fanega		254.00 Kg	valor dado
1Kg		2.20 Lb	valor dado
100.00 Lb de Fruto		50.00 Lb de pulpa	valor dado
1.00 Lb de Fruto		0.50 Lb de pulpa	valor dado
30.00 Lb de pulpa		0.10 g de CH ₄	valor obtenido
1.00 Lb de pulpa		0.0033 g de CH ₄	valor obtenido
1.00 m ³		0.716 Kg de CH ₄	valor dado
1.00 m ³		1000.00 Lt	valor dado
1.00 Kg de pulpa		0.0018 m ³	m ³ que ocupa la masa en el espacio
1.00 Lb de pulpa		0.0008 m ³	
1.00 Kg de est. de vaca		0.0010 m ³	

Tabla de conversiones

Fuente: propia

Tabla N°23

Bibliografía

Libros

1. Héctor Climent. (2004) Motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. España: Editorial Reverté, S.A.
2. Eliseo López Buitargo. Vicente Benito Guirado. Motores térmicos y sus sistemas auxiliares.
3. Xavier Elias Castells (2012). Tratamiento y valorización energética de residuos. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.

Manuales

1. Prof. María Teresa Varnero Moreno. (2011). Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass. Biomass Users Network (BUN-CA).
2. Desarrollos Industriales Alternativos. (2010). Funcionamiento de una planta de biogás. Mantenimiento de operación y mantenimiento de una planta de Biogás (daldur).

Tesis

1. Wilmer Adolfo Martinez Lopez, Maricela del socorro Gatica Campos. (2007) Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás a través del estiércol de res en la hacienda San Pedro, municipio de Muhan, departamento de chontales. UNAN, Managua-Nicaragua.
2. Luis Rodríguez, Francisco Javier. (2010) Puesta en marcha de un laboratorio para la producción de biogás. (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Industrial). Universidad Carlos III de Madrid-España.
3. Ana Llancys López Castillo, Bayardo Antonio Castillo Arauz. (2011) Aprovechamiento de las aguas mieles para la producción de etanol y abono orgánico (Protocolo de Investigación). UNI, Estelí-Nicaragua.
4. Dorving Rodríguez Hernández, Harvey Montoya Rosales, Br. Bismar Arceda (2007). Construcción de un Biodigestor, Finca Buena Vista Comunidad El Tepeyac, Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa.

Publicaciones

1. Evelyn Hernández, Svetlana Samayoa, Erwin Álvarez, Carlos Talavera. (2012), primera ed., Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás en Honduras a nivel productivo.
2. Ing. Nelson Rodríguez Valencia. (2011) Procesamiento del café en Colombia y uso actual de los subproductos.
3. J. E. Braham, R. Bressani. Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP.

Simposio y Talleres

1. Ing. Carmen Orozco S., Ing. Víctor R. Cantarero P., Lic. Juan Francisco Rodríguez M. Seminario-taller. El tratamiento anaerobio de los residuos del café: una alternativa energética para la disminución del impacto ambiental en el sector. Manual didáctico de tratamiento de residuos de café. Dirigido por PEICEE con el apoyo de PROMECAFE e ICAFE.
2. (1982). V simposio latinoamericano sobre caficultura. Dirigido por Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA). San Salvador, El salvador.

Recursos electrónicos

1. Biogás Nicaragua. (2009) Venta de tecnología para proporcionar alternativas de energía como la biomasa. Recuperado de <http://www.biogasnicaragua.com/>
2. Comunicaciones corporativas (2012). Planta de biogás de CISA. Recuperado de <http://www.comunicacioncorporativa.net/>
3. Banco Interamericano de desarrollo (2014). FOMIN y Fondo Nórdico de desarrollo lanzan programa de biogás. Recuperado de <http://www.iadb.org/>.
4. Central Intelligence Agency. The World Factbook, Nicaragua, Crude Oil-imports. Recuperado de <https://www.cia.gov>
5. SNV. SNV Nicaragua. Recuperado de <http://www.snvworld.org/es/countries/nicaragua>
6. Motores de Gas. Recuperado de <http://www.motoresdegas.com/>
7. AF. Asi funciona. Recuperado de <http://www.asifunciona.com/>
8. Wikipedia la enciclopedia libre. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki>
9. EXCAN. Asociacion de Exportadores de Café en Nicaragua. Recuperado de <http://excan.org.ni/>