UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial

Título: Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango.

Title: Design and construction of a semicontinuous vertical anaerobic biodigester for obtaining methane gas and biol from orange and mango peel.

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo

Pablo Moisés Suárez Monroy

Director: Ing. Iván Eduardo Suárez Escobar

Guayaquil, OCTUBRE de 2016

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo, **Pablo Moisés Suárez Monroy**, declaro que soy el único autor de este trabajo de titulación titulado

"**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO VERTICAL SEMICONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO Y BIOL A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA Y MANGO.**". Los conceptos aquí desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo, **Anthony William Gonzabay Valdiviezo**, declaro que soy el único autor de este trabajo de titulación titulado

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO VERTICAL SEMICONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO Y BIOL A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA Y MANGO.". Los conceptos aquí desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quien suscribe, en calidad de autor del trabajo de titulación titulado **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO VERTICAL SEMICONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO Y BIOL A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA Y MANGO",** por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.

_____

Pablo Moisés Suárez Monroy

CI: 0931066500

DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quien suscribe, en calidad de autor del trabajo de titulación titulado **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO VERTICAL SEMICONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO Y BIOL A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA Y MANGO",** por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.

_____

Anthony William Gonzabay Valdiviezo

CI: 0926228784

DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe, en calidad de director del trabajo de titulación titulado "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO VERTICAL SEMICONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO Y BIOL A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA Y MANGO**.", desarrollado por el estudiante **Ing. Iván Eduardo Suárez Escobar** previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Dado en la Ciudad de Guayaquil, a los 26 días del mes de SEPTIEMBRE de 2016

_____

Ing. Iván Eduardo Suárez Escobar
Docente Director del Proyecto Técnico

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por los triunfos y los momentos difíciles que me ha enseñado a valorarlos cada día más. A mi mamá por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mis abuelos quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en un profesional. A mi padre quien con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis amigos: George y Kevin que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y que hasta el momento seguimos compartiendo una gran amistad, a mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

ANTHONY WILLIAM GONZABAY VALDIVIEZO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerzas y valor para culminar esta importante etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi amada mamá, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi papá, hermana y Abuelos que han estado siempre presente en mi vida. Y sé que están orgullosos de la persona el cual me he convertido.

Al Ing. Iván Suarez por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Gracias a todas las personas que me ayudaron directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

ANTHONY WILLIAM GONZABAY VALDIVIEZO

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis Padres Jorge Y Patricia porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos, la familia la cual amo. Esto es para ustedes

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo desde un principio y me motivaste a seguir siempre adelante incluso en los momentos más turbulentos de mi vida. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste siempre ahí ayudándome y motivándome hasta donde tus alcances lo permitían. Te lo agradezco muchísimo. Cinthya

PABLO MOISÉS SUÁREZ MONROY

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir que cumpla una etapa más de mi vida profesional, por ser mi fortaleza y guía todos los días.

A mis padres por ser ejemplo de perseverancia, paciencia y sobre todo por darme su amor sin límites y apoyo incondicional.

Al ingeniero Iván Eduardo Suárez Escobar, por la buena predisposición, apoyo y guía a lo largo de este proyecto para poder obtener el mejor resultado del mismo.

A todas las personas extraordinarias que he conocido a lo largo de esta etapa y me han acompañado de distintas maneras en mi vida.

PABLO MOISÉS SUÁREZ MONROY

INDICE GENERAL

	INTRODUCCION	18
1	PROBLEMA	25
1.1	Antecedentes	25
1.2	Importancia y alcances	27
1.2.1	Formación del gas Metano	28
1.2.2	Origen del Biogás	29
1.2.3	Molécula del metano	31
1.2.4	La Biodigestión	31
1.2.5	Biodigestión aeróbica	32
1.2.6	Biodigestión anaeróbica.	32
1.2.7	Fases de la digestión anaerobia	33
1.2.8	Proceso de Biodegradación.	33
1.2.9	Productos finales	39
1.2.10	Importancias de un Biodigestor	39
1.2.11	Manifiestacion del problema y como se enfocara en la propuesta	40
1.3	Delimitación	41
1.4	Objetivos	41
1.4.1	Objetivo General	41
1.4.2	Objetivos específicos	42
2	REVISION DE LA LITERATURA, FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO DEL ARTE.	43
2.1	Historia	43
2.2	Comentario	50
3	MARCO METODOLÓGICO	51
3.1	Propuesta de construcción del biodigestor	51
3.2	Formulas	52
3.3	Proceso de contrucción	56
3.4	Materiales a utilizar en la construcciñon del Biodigestor	57
3.5	Partes del equipo	58
3.6	Proceso de fermentación	63
3.7	Proceso de limpiado del equipo	63
3.8	Referencias de los ensayos	64

3.8.1	Pruebas iniciales	64
3.9	Diseño del manual de manipulacion del equipo	71
3.10	Campos de aplicación del sistema	73
3.10.1	Impacto Ambiental	73
3.11	Costos del biodigestor Materiales	74
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
4.1	Conclusiones	75
4.2	Recomendaciones	76
5	BIBLIOGRAFÍA	77
6	ANEXOS	79

INDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 1 Concentración inhibidora de inhibidores comunes 38
CUADRO Nº 2 Curva de generación del gas 66
CUADRO Nº 3 Variedades de Naranja 68
CUADRO Nº 4 Composición de la cáscara de naranja 70
CUADRO Nº 5 Problemas y soluciones 73
CUADRO Nº 6 Costo unitario 74

INDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA Nº 1 Materia orgánica compleja 34
DIAGRAMA Nº 2 Presión temperatura 66

INDICE DE IMAGENES

IMAGEN Nº 1 Prototipo de Biodigestor. 27
IMAGEN Nº 2 Formación del gas Metano 28
IMAGEN Nº 3 Molécula del metano 31
IMAGEN Nº 4 Pirómetro 37
IMAGEN Nº 5 Medición de temperatura 37
IMAGEN Nº 6 Limite espacial 41
IMAGEN Nº 7 Construcción del Biodigestor 51
IMAGEN Nº 8 Diseño final de Biodigestor 58
IMAGEN Nº 9 Componentes del Biodigestor 59
IMAGEN Nº 10 Diseño final del Biodigestor 60
IMAGEN Nº 11 Prueba de hermeticidad 60
IMAGEN Nº 12 Llenado de la biomasa 61
IMAGEN Nº 13 Recolección de la materia prima 62
IMAGEN Nº 14 Mezclado de la biomasa 62

INDICE DE ABREVIATURAS

Q= Carga Orgánica.

C= Calor específico.

M= Masa.

CH_4= Metano.

Δ**T =** (tiempo inicial x tiempo final).

CO_2= Dióxido de carbono.

NH_3= Biol fertilizante.

$C_6H_8O_7$= Ácido cítrico.

TRM= Tiempo de retención en días.

CO= Carga Orgánica.

$\mathring{V}$= Caudal de alimentación.

VRL= Volumen del reactor.

Pr= Presión del reactor.

Tr= Temperatura de la mezcal reactiva.

R= Constante de Boltzmann.

n = Número de moles del biogás .

PSI= La libra-fuerza por pulgada cuadrada (presión).

RESUMEN

En la elaboración del presente proyecto de título se pretende realizar el diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango. Esto se lograra al estimar los parámetros de diseño del Biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo, calculando la cantidad de gas metano y biol estimado que podría generar el biodigestor, además de construir y operar el biodigestor anaerobio semicontinuo para la obtención de gas metano y biol. Se deberá tener también el control de los parámetros operacionales dentro de los rangos establecidos para un adecuado funcionamiento del biodigestor. Esto se logrará realizando tres pruebas a diferente masa y temperatura para saber cuánto fue la presión de salida máxima y biol del biodigestor

De este modo, el proyecto podrá servir como guía para la construcción de biodigestores similares, así como manual para su uso correcto, con recomendaciones y consejos prácticos. Además, las conclusiones obtenidas en los experimentos, servirán para posteriores ensayos.

Por otro lado se plantean posibles experimentos y aplicaciones futuras, sirviendo de este modo el biodigestor no solo para la realización de este proyecto, sino para posteriores usos y aplicaciones del mismo.

ABSTRACT

In the production of the present project of title there tries to realize the design and construction of an anaerobic vertical semiconstant biodigester for the gas obtaining methane and biol from the rinds of orange and handle. This was achieved on having estimated the design parameters of the anaerobic vertical semiconstant Biodigester, calculating the gas quantity methane and biol estimated that might generate the biodigester, beside constructed and to operate on the anaerobic semiconstant biodigester for the gas obtaining methane and biol. It will have also the control of the operational parameters inside the ranges established for a suitable functioning of the biodigester. This will be achieved realizing three tests to different mass and temperature to know how much was the pressure of maximum exit and biol of the biodigester.

Thus, the project will be able to serve as guide for the construction of biodigestores similar, as well as manual for his correct use, with recommendations and practical advices. In addition, the conclusions obtained in the experiments, will serve for later tests.

On the other hand possible experiments and future applications appear, serving thus the not alone biodigester for the accomplishment of this project, but for later uses and applications of the same one.

.

INTRODUCCIÓN

El uso global de la energía ha ido aumentando desde la Revolución Industrial en forma creciente. Las fuentes principales de energía son los combustibles fósiles: carbón, gas natural y petróleo, que aportan entre el 75% y el 85% del total de la energía utilizada. Las reservas de combustibles fósiles son limitadas y, a corto o mediano plazo, se necesitarán fuentes alternativas de combustible. Entre ellos, los combustibles producidos biológicamente o biocombustibles.

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos. Estos restos orgánicos proceden habitualmente de desperdicios de frutas, vegetales, restos orgánicos. Todos ellos reducen el volumen total de CO_2 que se emite en la atmósfera. Los biocombustibles comprenden al biodiesel, bioetanol, biomasa y biogás. Su uso genera una menor contaminación ambiental y son una alternativa viable al agotamiento ya sensible de energías fósiles.

Los residuos sólidos orgánicos contienen varios componentes, y dentro de estos están las cáscaras de naranja y cáscaras de mango desechadas que constituyen el material básico para la ejecución de la presente investigación. Los principios activos de las cáscaras de naranja y mango tienen diferentes aplicaciones, principalmente se utilizan como componentes aromáticos y como agentes saborizantes en procesos farmacéuticos y de alimentos. Sin embargo recientemente se ha intensificado su uso como disolvente y como agente de limpieza en el caso de la naranja debido a la presencia de limoneno, que es el compuesto más abundante (95%) y que sirve como un sustituto de compuestos químicos tóxicos, como ácidos. Adicionalmente tiene la ventaja de ser biodegradable.

El presente trabajo tiene como propósito la elaboración de un biodigestor a partir de la cáscara de naranja y mango, como una alternativa para la gestión de los residuos orgánicos, por medio de la digestión anaerobia que es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en biogás o gas biológico, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico. Se caracteriza por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de

los microorganismos), interviniendo diversas poblaciones de bacterias. Así mismo, se obtiene biol, que es un biofertilizante líquido.

Naranja como fuente de energía

Científicos de todo el mundo abogan por desarrollar técnicas que permitan el aprovechamiento de los recursos renovables, e incluso de los desechos de otras actividades, para producir fuentes de energía sustentables. Este es el caso que los científicos del Área de Ingeniería Química de la UCO (Universidad de Córdoba) realizaron un estudio que fue recientemente publicado en la revista Bioresource Technology.

La técnica apunta al aprovechamiento de los residuos de las cáscaras de naranjas. El proceso comienza con un pretratamiento, a partir de la extracción de D-limoneno (sustancia que se encuentra en el aceite de las cáscaras de cítricos). Posteriormente se somete a los residuos a un procesos llamado digestión anaerobia, en el cuál se produce una transformación microbiológica de la materia por la ausencia de oxígeno. El resultado es la generación de diversos gases, principalmente dióxido de carbono y metano.

Luego de las pruebas en los laboratorios, los investigadores de la Universidad de Córdoba determinaron que el proceso de producción de gas metano tiene un mayor índice de productividad con la utilización de microorganismos termófilos (son aquellos con temperatura óptima de crecimiento mayor a 45°C.

Esta técnica de aprovechamiento de las cáscaras de naranjas puede ser muy provechosa si consiguiese aplicarse en gran escala. Para comprender la dimensión, es de anotar que la producción mundial de naranjas alcanzó los 63 millones de toneladas al año aproximadamente durante la última década. De esta cantidad se estima que un 70% es utilizado en la producción industrial de zumos y mermeladas, dejando más de la mitad en residuos. Es decir, más de 20 millones de toneladas de cáscaras y pulpas que se desperdician anualmente. La aplicación del proceso desarrollado por los investigadores cordobeses podría ser una gran forma de

aprovechamiento de estos desechos y a la vez una interesante fuente de biogás, obtenido de una forma sustentable.

Fórmula

El calor específico es la cantidad de energía requerida para elevar en un grado centígrado un gramo de una sustancia pura. El calor específico de una sustancia depende tanto de su estructura molecular como de su estado. Es por esto que para este proyecto se calculará la temperatura con la que debe trabajar el biodigestor, la misma que será a una temperatura constante de 40 ºC. Se aplicará la siguiente fórmula donde:

$$\mathbf{Q = C \times M \times \Delta T}$$

Q= calor añadido
C= calor específico
M= masa
ΔT = (tiempo inicial x tiempo final)

Mango como fuente de energía

El mango (Mangifera indica L.), pertenece a la familia Anarcadiaceae, que incluye alrededor de 600 miembros. Es una fruta popular y conocida como el rey de las frutas. Se cree que es una de las frutas más antiguas cultivadas; su origen es encontrado en la región Indo-Burma.

El residuo de cascaras del mango común (Mangifera indica L.) es un material vegetal que contiene gran cantidad de tejido lignocelulósico, el cual puede ser aprovechado para la obtención de metabolitos fermentables y productos de la fermentación.

El complejo enzimático obtenido representa una alternativa en el aprovechamiento integral del fruto y puede ser empleado en el tratamiento enzimático de pulpas de

frutas. La mayoría de los biodigestores funcionan a base de materia orgánica como lo son las heces de los animales (vacas, cerdos, etc.) que en estado anaerobio producen gas metano. Por este motivo nos parece innovador desarrollar esta propuesta de proyecto con la cáscara de naranja y mango, para aprovechar el biol y el gas metano resultante de la descomposición de esta materia orgánica, en un biodigestor mediante el empleo de bacterias termófilas.

Gas metano

El biogás o gas metano gaseoso es el producto derivado a partir de la descomposición de la materia orgánica por la labor bacteriana o combustión en contextos anaeróbicas y es considerado como un subproducto del compostaje y pirolisis. El biogás está mezclado principalmente por metano (50-60%), dióxido de carbono (35-45%) y trazas de hidrógeno y nitrógeno. Es deslucido, inodoro e insípido, por lo que es dificultoso de detectar. Es utilizado para producir electricidad, calor y energía a manera de biocombustible. La temperatura de sumario debe estar entre 30 y 40 ° C y el tiempo capaz para obtener una producción de metano depende de la temperatura y el material orgánico utilizado para este propósito. Otro uso importante del biogás es obtener hidrógeno.

Este proceso implica una descomposición térmica catalítica de metano contenido en el biogás. Por último, el flujo de gas obtenido limpio para un producto con un bajo contenido de CO_2 lo que lo hace adecuado para su uso como combustible, así como en la síntesis de amoníaco, metanol, refinerías y otros. Para otros combustibles como el metanol, necesita material biomásico tiene un contenido de humedad inferior al 60%, como residuos de alta humedad con bajo poder calorífico.

Presentación del tema

El presente trabajo de investigación es: “Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango.

Antecedentes

El Ministro de Electricidad y Energía Renovable, Esteban Albornoz Vintimilla, explica que siendo el Ecuador un país agrícola y ganadero, existe un gran potencial para la explotación de esta fuente de energía. De hecho, existen varios emprendimientos de generación de biogás a partir de la caña de azúcar y la cascarilla de arroz, entre otros, que ya han demostrado la viabilidad de este tipo de proyectos.

La problemática surge de la necesidad de plantear el diseño y construcción de un biodigestor, para que a través del proceso de biodegradación colaborar con la reducción de la contaminación y aprovechar los recursos que se generan del proceso de biodegradación obteniéndose biogás y biol o bioabono, para lo cual se debe controlar variables de temperatura, pH y tiempo de retención. Su principal elemento químico es el metano, que a través de bacterias metanogénicas localizadas en los desechos biodegradables como la cascara de naranja y mango producen este tipo de energía.

El biodigestor tiene una vida útil de cinco años, con un mantenimiento y control del mismo que se debe efectuar cada trimestre. El gasoducto contiene sello en las uniones de accesorios para evitar fugas y desperdicios del fluido, además una válvula de seguridad, una trampa de agua y una trampa de ácido sulfhídrico, que complementan el proceso para obtener un biogás de buena calidad a costos relativamente bajos.

La aplicación de sistemas biodegradables y usos de energías alternativas renovables, contribuyen con la conservación del medio ambiente, así; la perspectiva que presenta la investigación del sistema biodigestor es contribuir con un desarrollo técnico en beneficio de la sociedad e impulsar al sector industrial. Los beneficios que se obtienen con el sistema biogás se presentan en las mismas condiciones que el GLP, pudiendo a futuro reemplazarlo con esta tecnología más limpia y económica.

Antecedentes Técnicos

La biodigestión es una metodología de tratamiento de cualquier producto de base orgánica (es decir que tiene como componentes al C, H y O). El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica (en este caso las cascaras de mango y naranja), la cual se convierte en biogás (gas metano).

El biogás es un producto del metabolismo de las bacterias metano génicas que participan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambiente húmedo y carente de oxígeno. A su vez, durante el proceso de descomposición, algunos compuestos orgánicos son transformados a minerales, los cuales pueden ser utilizados fácilmente como fertilizantes para los cultivos. La producción de biogás va a depender, principalmente, de los materiales utilizados, de la temperatura y del tiempo de descomposición.

Justificación.

El biogás radica específicamente en dos aspectos fundamentales son: la fácil obtención de la materia prima (desperdicios de cáscaras de frutas o plantas, orina humana) y el bajo costo de elaboración del biodigestor. Además es una temática de nuestra actualidad, que ofrece la apertura de una nueva línea de investigación que nos permitirá crecer intelectualmente como académicamente.

Tomando en cuenta que de este modo protegería el medio ambiente, para lo que se puede destacar otros beneficios como:

Mejorar las condiciones higiénicas.

Utilización del gas metano como fuente alternativa.

La protección del medio ambiente y la salud.

Empleo del bioabono como fertilizante natural.

Con el uso de biodigestor se resolverán una serie de problemas que enfrenta el país tanto en el sector rural como urbano Para lo que se necesita una tecnología amiga del medio ambiente, la unidad de producción agropecuaria, requieren maximizar el uso dos recursos, este tipo de tecnología es una muestra clara de que nada en el mundo puede considerarse como desecho inutilizable. Son muchas las bondades de éste proyecto, además los requerimientos económicos para inversión son relativamente bajos, cuando se los compara con los beneficios que se puede obtener al usar esta tecnología.

CAPITULO I
PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El comienzo de la historia del biogás se puede fijar en unos 5.000 años atrás. Fuentes muy antiguas indican que el uso de desechos y los "recursos renovables" para el suministro de energía no son conceptos nuevos, pues ya eran conocidos y utilizados mucho antes del nacimiento de Cristo. Los inicios del biogás se han fijado en base a hechos históricos que dicen que, alrededor de 3000 años antes de Cristo, los sumerios ya practicaban la limpieza anaerobia de los residuos (Deublein y Steinhauser, 2008). También hay datos que están basados en el relato del viaje de Marco Polo a China (Catai) (1278-1295) en el libro " Divisament du monde " (posteriormente conocido como "El Libro de las maravillas del mundo"), en el que se describen unos tanques cubiertos en donde se almacenaban las aguas residuales en la antigua China, pero no está claro si capturaban el gas o si le daban alguna utilidad, en este libro se dice que este hecho, está mencionado en la literatura china del tercer milenio antes de Cristo. También hay otras fuentes que citan como primer uso del biogás el calentamiento del agua de los baños públicos en Asiria, allá por el siglo X antes de cristo.

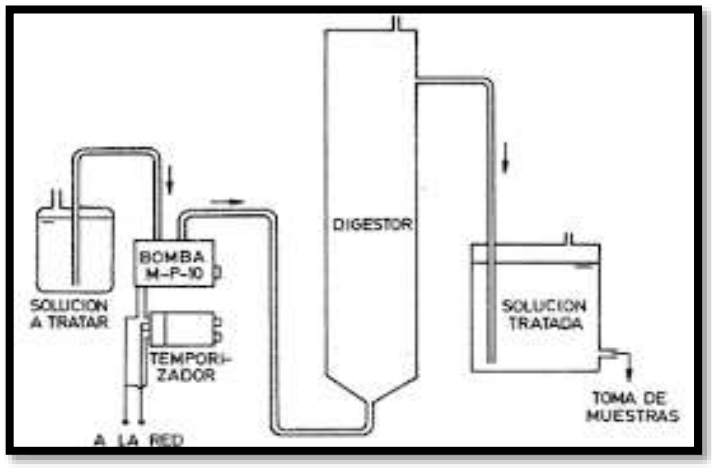
En dicha era, el estudioso romano Plinio describió, alrededor del año 50 después de Cristo, el brillo de unas luces que aparecían por debajo de la superficie de los pantanos. Mucho más reciente, en el siglo XVI en Persia, hay constancia escrita del uso del biogás (Brakel, 1980; Lusk, 1998). En tiempos modernos, existe la disputa entre dos ciudades para determinar quién ostenta el honor de poseer el primer digestor anaerobio para biogás de la era moderna, ya que si bien numerosos autores comentan que la primera unidad de digestión anaerobia para la obtención de biogás a partir de aguas residuales fue construida en la India en 1859, en el asilo-hospital de leprosos de Matunga, cerca de Mumbai(antes de 1995 se llamaba Bombay) en la India(Sathianathan, 1975; Deublein y Steinhauser, 2008), esta planta purificaba las aguas residuales y proveía de luz y energía al hospital en caso de emergencias; hay también constancia de la construcción de un digestor en la ciudad de Otago en Nueva Zelanda, casi veinte años antes, hacia 1840.

Dejando a un lado los hechos más o menos anecdóticos antes comentados, la ciencia del proceso de producción de biogás están viejas como puede ser la investigación científica e incluye los nombres de la mayoría de los investigadores más famosos del mundo. Haciendo una recapitulación de los numerosos estudios sobre este proceso, vemos que la primera anotación científica sobre el biogás se atribuye a Jan Baptista Van Helmont, en la primera mitad del siglo XVII (1630), quién determinó que dela descomposición de la materia orgánica se obtenían unos gases que eran inflamables. Otros autores atribuyen a Shirley en 1667 el descubrimiento del biogás o del gas de los pantanos, identificándolo como el causante de los denominados "fuegos fatuos", aunque parece ser que Shirley se basó en las conclusiones que escribió van Helmont, con anterioridad (Santhianathan, 1975). Unos años más tarde, en 1682 R. Boyle y su asistente Denis Papin predijeron la posibilidad de obtener un gas a partir de residuos animales y vegetales en descomposición (Pine, 1971). Unos años más tarde, ya en el siglo XVIII, concretamente en 1728 Stephen Hales publica su obra "Vegetable Staticks" sobre esta materia.

En el Nuevo Continente, en 1764, Benjamín Franklin describió que el biogás pudo ser el causante que se prendiera fuego una gran superficie de un brumoso lago poco profundo en NewJersey. De esto informó a Joseph Priestly en Inglaterra, quién publicó en 1790 sus propias experiencias con el denominado "aire inflamable" (Titjen, 1975).

El desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural, donde se cuenta de manera directa y en cantidad con diversos tipos de desechos orgánicos, como desechos vegetales y el estiércol. De esta manera, el aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales de tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Según los expertos, esta manera de tratar los residuos es más efectiva, controlada y ecológica que las soluciones tradicionales de tratamiento, que en algunos casos pasan directamente por el vertido incontrolado.

IMAGEN Nº 1 Prototipo de Biodigestor.



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: https://wwwbiodigestor+anaeróbico+vertical+semicontinuo&biw

1.2 Importancia y alcances

La importancia se evidencia en la necesidad de aprovechar fuentes de energía a bajo costo, además como un proyecto piloto a prueba para la generación de estas nuevas fuentes de energías alternativas respetando y cuidando el medio ambiente, así como establecer una medida efectiva a realizar es utilizar los desechos orgánicos generados por las cascaras de naranja y mango aprovecharlas como materia prima en la elaboración y obtención del biogás, que se puede utilizar principalmente para la cocción de alimentos en la vivienda y los residuos salientes de la producción del biogás utilizarlos como abono para incrementar la economía al comercializarlo.

El biogás es una fuente de energía renovable, compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono, generados a partir de la biodegradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno. Cumple una importante función medioambiental ya que se obtiene a partir del tratamiento y la valorización energética de residuos orgánicos de origen vegetal.

El alcance de la presente investigación se evidencia cuando el biogás como otros combustibles, cuenta con múltiples aplicaciones, desde generación de electricidad, calor, hasta carburante en vehículos adaptados para ello. Este biocombustible contribuye a la mitigación del Cambio Climático debido a las siguientes razones:

-No emite dióxido de azufre, que además es el principal causante de la lluvia ácida

-Disminuye la concentración de partículas en suspensión de monóxido de carbono y de hidrocarburos, respecto a otros carburantes.

-Permite reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles

-Otro de los beneficios del biogás frente a otras fuentes de energía renovable, es que proporciona una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético pues su producción no está limitada por las condiciones climáticas.

1.2.1 Formación del gas Metano

La etapa del metano génesis es la encomendada de obtener metano a partir del ácido acético, o bien por reacción del hidrógeno con el dióxido de carbono. Las transformaciones que suceden en esta parte del proceso son:

IMAGEN Nº 2 Formación del gas Metano

$$CH_3 - COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: https://wwwbiodigestor+anaeróbico+vertical+semicontinuo&biw

El metano es un ejemplo de compuesto molecular, cuyas unidades básicas son grupos de átomos unidos entre sí. La molécula de metano consta de un átomo de

carbono con cuatro átomos de hidrógeno unidos a él. La forma general de la molécula es un tetraedro, una figura con cuatro caras triangulares idénticas, con un átomo de hidrógeno en cada vértice y el átomo de carbono en el centro.

Otra vía de obtención de metano es a partir del consumo de hidrógeno, utilizando microorganismos metano génicos hidrogenó filos, pertenecientes a los géneros Methanobacterium, Methanococos, Methanobrevibacter o Methanogenium.

1.2.2 Origen del Biogás

La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso. En este último caso, se tienen en cuenta las características de composición del agua y siempre que sea ventajoso frente a otras alternativas de tratamiento también se utiliza, aplicándose a los vertidos de la industria agroalimentaria, bebidas, papeleras, farmacéuticas, textiles, etc.

En un primer momento, el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural, donde se cuenta de manera directa y en cantidad con diversos tipos de desechos orgánicos, como el estiércol. De esta manera, el aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales de tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Según los expertos, esta manera de tratar los residuos es más efectiva, controlada y ecológica que las Soluciones tradicionales de tratamiento, que en algunos casos pasan directamente por el vertido incontrolado. El biogás también tiene sus inconvenientes porque, además del metano y dióxido de carbono, pueden aparecer otros componentes minoritarios como el ácido sulfhídrico que es necesario eliminar. Por otra parte, si el residuo queda almacenado en condiciones de ausencia de aire, como ocurre en los estercoleros, se formaría metano que escaparía a la atmósfera, produciendo efecto

invernadero y destrucción de la capa de ozono sin que se aproveche su energía.

En este sentido, un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria presentaba recientemente un nuevo proceso de tratamiento y gestión de los residuos del ganado vacuno lechero que reduce la contaminación y aprovecha los nutrientes del estiércol, al tiempo que permite obtener energía renovable a través del biogás generado. Estos investigadores ya han iniciado contactos con el sector ganadero y con las consejerías de Medio Ambiente y de Ganadería, Agricultura y Pesca del Gobierno de Cantabria para estudiar cómo llevar este proyecto a la práctica. Estos expertos aseguran que si se sigue apostando por las energías renovables, la mejora de las tecnologías y el incremento de este tipo de plantas para obtener biogás y su posterior utilización es cuestión de tiempo.

El biogás es un producto del metabolismo de las bacterias metanogénicas que Participan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambiente húmedo y carente de oxígeno.

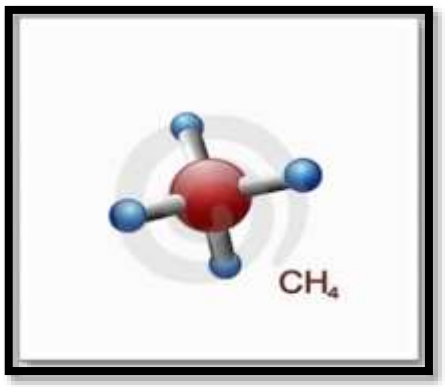
Durante el proceso de descomposición anaeróbica, se puede obtener entre otros, etanol, metanol y gas metano en cantidades apreciables, además de algunos compuestos orgánicos que son transformados a minerales, que pueden ser utilizados fácilmente como fertilizantes para los cultivos.

La producción de biogás va a depender, principalmente, de los materiales utilizados, de la temperatura y del tiempo de descomposición.

1.2.3 Molécula del metano

En la siguiente imagen podemos observar una molécula de metano que está compuesta por una de carbono y cuatro de hidrogeno.

IMAGEN Nº 3 Molécula del metano



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: https://wwwbiodigestor+anaeróbico+vertical+semicontinuo&biw

1.2.4 La Biodigestión

Según la FAO (2011), 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. El reciclaje de la materia orgánica ha recibido un fuerte impulso debido al alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y degradación de residuos.

La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos. **(Rivas et al, 2009).**

1.2.5 Biodigestión aeróbica

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. Así por ejemplo, cuando los lodos 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 auto-oxidación de la materia celular**. (FAO, 2011)**

En las primeras fases del proceso de digestión aeróbica, cuando una población de microorganismos se pone en contacto con una fuente ilimitada de sustrato, los microorganismos se reproducen con una tasa de crecimiento poblacional logarítmico que sólo está limitada por su propia habilidad de reproducirse. **(Rivas, 2009)**

La tasa de consumo de oxígeno aumenta rápidamente debido a la absorción y asimilación de materia orgánica para la síntesis de nueva masa protoplasmática **(Campos, 2001)**

A medida que progresa la oxidación de la materia orgánica disponible, la tasa de crecimiento bacteriano empieza a disminuir. Las fuentes de carbono orgánico disponibles se hacen limitantes, y por consiguiente, también se presenta una disminución en la tasa de consumo de oxígeno **(Hilbert, 2003).**

1.2.6 Biodigestión anaeróbica.

La digestión anaerobia puede aplicarse, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. **(Rivas, 2009).**

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia en ausencia de oxígeno, y mediante la acción bacteriana específica, se descompone en productos gaseosos o "biogás" (CH_4, CO_2, H_2, H_2S, etc.), y en un efluente, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación. **(IDAE, 2007)**

1.2.7 Fases de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia se caracteriza por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato, interviniendo cinco grandes poblaciones de microorganismos. Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas de diferentes tasas de crecimiento y diferentes sensibilidades para cada compuesto intermedio como inhibidor (por ejemplo, H_2, ácido acético o amoníaco producto acido génesis de aminoácido). **(Hilbert, 2003)**

Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del substrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o que a la temperatura y pH **(IDAE, 2007).**

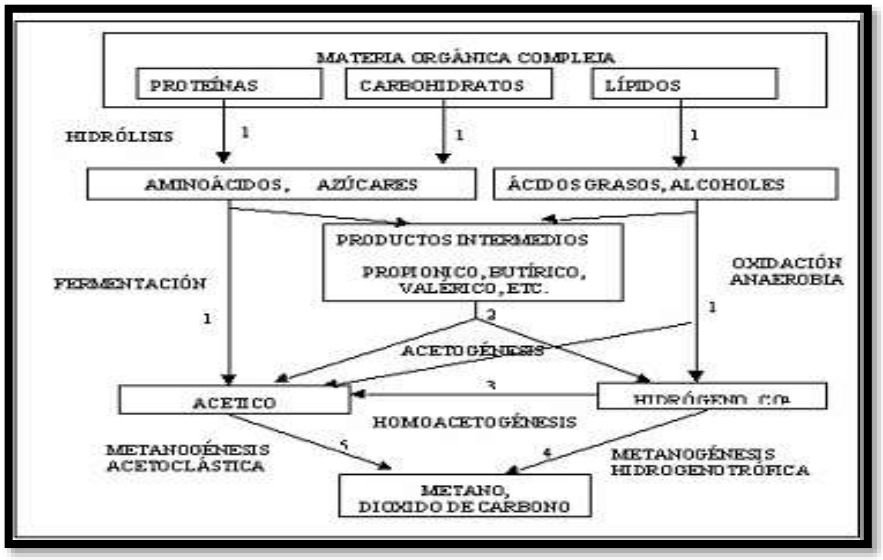
1.2.8 Proceso de Biodegradación

La materia orgánica del suelo se compone de vegetales, animales, microorganismos, sus restos, y la materia resultante de su degradación. Normalmente representa del 1 al 6% en peso. Es de gran importancia por su influencia en la estructura, en la capacidad de retención de agua y nutrientes, y en los efectos bioquímicos de sus moléculas sobre los vegetales.

Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en biogás o gas biológico, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico. Se caracteriza por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo diversas poblaciones de bacterias. La figura adjunta describe cada una de las fases.

DIAGRAMA Nº 1 Materia orgánica compleja



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: https://wwwbiodigestor+anaeróbico+vertical+semicontinuo&biw

Las Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas son:

1) Bacterias hidroliticas-acidogénicas
2) bacterias acetogénicas
3) bacterias homoacetogénicas
4) bacterias metanogénicas hidrogenófilas
5) bacterias metanogénicas acetoclásticas

Se identifican cinco grandes poblaciones bacterianas, las cuales actúan catalizando tres procesos consecutivos: hidrólisis, acido génesis (formación de ácidos) y metano génesis (formación de metano), constituyendo 4 etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapas:

Etapa hidrolítica:

Los compuestos orgánicos complejos, como los lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son des polimerizados, por acción de enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, etc.

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.

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.

Etapa metanogénico:

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.

Temperatura y tiempo de retención:

La temperatura determina el tiempo de retención para la digestión y degradación de la materia orgánica dentro del digestor, la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo, además se incrementa la producción de biogás. Puesto que la digestión es un proceso tan lento, con frecuencia es necesario aplicar calor para acelerar las reacciones bioquímicas implicadas. La mayoría de los digestores convencionales funcionan en la gama mesofílica, es decir, entre 12 y 35° C, optimizándose el proceso entre los 29 y 33°C. Aunque la digestión anaerobia puede ocurrir en la gama termofílica de entre 37-65 °C, con un óptimo en las proximidades de los 55°C, de tal manera que la digestión termofílica permite una permanencia menor en los tanques, pero, debido a su excepcional sensibilidad a los cambios de temperatura, exige un gran control y no es aconsejable.

Es preferible por tanto, la digestión mesofílica, con temperatura controlada.

A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5ºC se puede decir que las bacterias quedan ‘dormidas’ y ya no producen biogás. Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor.

Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

En la siguiente figura se muestra la temperatura de la llama de laida del biodigestor que alcanzó los 130˚C.

IMAGEN Nº 4 PIRÓMETRO

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Autor

IMAGEN Nº 5 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Autor

Agentes promotores e inhibidores de la fermentación

Los agentes promotores son materiales que fomentan la degradación de la materia orgánica y aumentar la producción de biogás, entre ellos existen enzimas, sales inorgánicas, se puede emplear urea para acelerar la producción de metano y la degradación del material, Carbonato de Calcio para la generación de gas y para aumentar el contenido de metano en el gas.

Concentraciones elevadas de amoníaco y nitrógeno, sales minerales como los iones metálicos y algunas sustancias orgánicas como detergentes, desinfectantes y químicos agrícolas, que aparte del oxígeno, inhiben la digestión por que destruyen las bacterias metanogénicas.

CUADRO Nº 1 Concentración inhibidora de inhibidores comunes

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO_4	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/l
Cu	100mg/l
Cr	200mg./l
NI	200- 500 mg./l
CN	25mg./mg./l
Detergente sintético	20-40 mg./l
Na	3500-5500 mg./l
K	2500-4500 mg./l
Ca	2500-4500 mg./l
1000-1500 mg./l	1000-1500 mg./l

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: FAO 2008

Aparte de la inhibición a causa de los ácidos, la fase metano génica es inhibida por varias sustancias tóxicas. Éstos incluyen los metales pesados, el cadmio, el cobre, el cromo, el níquel, el plomo y el zinc

1.2.9 Productos finales

El biogás y el efluente estabilizado son los principales productos de la digestión anaeróbica.

Producción de biogás:

Que se llama el biogás es una mezcla gaseosa se obtiene a partir de la descomposición de materia orgánica en condiciones anaerobias y cuyos componentes principales son el metano (55-65%) y dióxido de carbono (35-45%) y en menor medida, de nitrógeno, (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0,1%) y de sulfuro de hidrógeno (TRACE) que se producen a raíz de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un microorganismo. Digestor de biogás (a causa de metano) tiene un valor calorífico de aproximadamente 4,500 a 5,600 kcal / m^3. El poder calorífico del biogás es determinada por la concentración de metano (8,500 kcal / m^3), que puede incrementarse, eliminando todo o parte del CO_2 en el biogás. La producción total de gas depende principalmente de la cantidad de alimento consumido por las bacterias o, en otras palabras, la cantidad de sustrato secuestrado en el proceso.

En la ciudad de Guayaquil playas temperatura de 25 a 30 grados Celsius, y estimaron alrededor de 20 días el tiempo de retención a 30, la temperatura de trabajo es de unos 21 ° C en promedio, y se estima en aproximadamente 55 días de plazo de retención. Por eso, para la misma cantidad de volumen de materias primas 5 veces más grande en las tierras altas es necesario que en los trópicos.

1.2.10 Importancia de un Biodigestor

La idea de construir un biodigestor anaerobio vertical semicontinuo piloto es de gran importancia para el medio ambiente, con el fin de gestionar los residuos, obtener energía renovable, no contaminante como son el biogás y el biol, además de cumplir con las normas medio ambientales vigentes para el Ecuador.

La producción de biogás tiene grandes beneficios tanto a los usuarios, a la sociedad como al medio ambiente, Aquí mencionamos los beneficios más significativos:

a. Producción de energía: calor, luz, electricidad
b. Transformar los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad
c. Mejorar las condiciones higiénicas por la reducción de patógenos, huevos d moscas, etc.
d. Favorecer la protección del suelo, agua, aire y vegetación, obteniendo menor deforestación.

1.2.11 Manifestación del problema y como se enfocará en la propuesta

Las actividades diarias que se desarrollan en la zona comercial de los mercados de Guayaquil, como la venta y consumo de productos, generan distintos tipos de residuos, el mayor volumen de desechos está constituido por plásticos y por residuos sólidos orgánicos.

Los residuos sólidos orgánicos contienen varios componentes, y dentro de estos están las cáscaras de naranja y mango desechadas por las personas, esto constituye la materia prima para la ejecución del mismo,

Una de las alternativas para gestionar estos residuos orgánicos, es el uso de un biodigestor anaeróbico que contribuya con la digestión bacteriana en ausencia de oxígeno, con el fin de obtener productos biodegradables y no contaminantes como lo son el gas metano y el biol

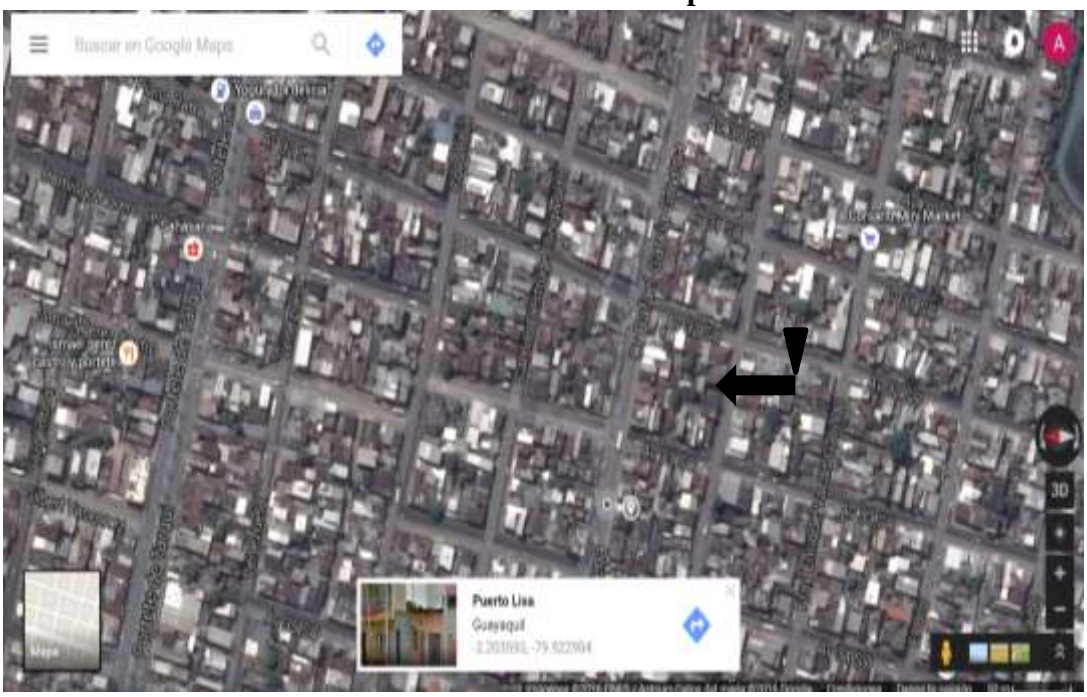
La situación en la que se desenvuelve el consumismo y desecho de materia orgánica es necesario implementar e implantar alternativas de disminuir la contaminación ambiental y aprovechar este insumo como medio de generación de energía y obtención de un elemento orgánico como medio de ayuda a fertilizar los suelos de los campos para la obtención de mejores cultivos.

1.3 Delimitación

Límite temporal: Este proyecto técnico está considerado en un tiempo de 6 meses, a partir de que el consejo de la carrera Ingeniería Industrial aprobó el anteproyecto

Límite espacial: Suburbio de Guayaquil. 31 y García Goyena.

IMAGEN Nº 4 Limite espacial



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: (https://maps.google.com.)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango.

1.4.2 Objetivos específicos

-Estimar los parámetros de diseño del Biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo.

-Calcular la cantidad de gas metano y biol estimado que podría generar el biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo.

-Construir y operar el biodigestor anaerobio vertical semicontinuo para obtención de gas metano y biol.

-Controlar los parámetros operacionales dentro de los rangos establecidos para un adecuado funcionamiento del biodigestor anaeróbico.

CAPITULO II
REVISION DE LA LITERATURA, FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO DEL ARTE.

2.1 Historia

Revisados los diferentes repositorios digitales de múltiples universidades se pudo encontrar las siguientes investigaciones:

En el año 2010 en la Universidad Carlos III de Madrid escuela Politécnica Superior departamento de Ciencia e Ingeniería proyecto, en convenio con la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, el investigador Alejandro Bautista Buhigas, presentó una tesis con el tema: Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos, que tenía como objetivos Contribuir al desarrollo sostenible de la zona. Paliar la degradación del suelo, Evitar la contaminación y agotamiento de los acuíferos circundantes a la zona, también el tratamiento de los desechos orgánicos procedentes de la agroindustria tales como el despulpado del café (pulpa y aguas mieles), la cáscara del plátano, sueros de leche producidos por las queserías y la gallinaza (estiércol de gallina preparado para ser utilizado como abono o complemento alimenticio para ganado); constituye una valiosa oportunidad de evitar la contaminación de los acuíferos, reducir la deforestación, obtener energía proveniente del biogás y producir fertilizantes orgánicos.

En el año 2010 en Universidad de Chile en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas departamento de Ingeniería Mecánica, el autor Javier Andrés Pérez Medel, presento una tesis con el tema: Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros, la finalidad de la investigación es mejorar la realidad rural del país aprovechando una de las principales actividades económicas de este grupo demográfico, la crianza de bovinos para engorda y el aprovechamiento de la leche y la carne. El desecho más abundante generado por los animales utilizados en esta actividad son las heces (materia fecal). Estos residuos orgánicos han tenido amplio estudio a través del tiempo para su utilización como

biomasa, es decir como materia prima que permite la obtención de energía y particularmente la generación de biogás.

En el año 2010 en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, de México, la autora: Eva Patricia Tavizón Alvarado, presentó una tesis con el título: Diseño de un biodigestor para desechos orgánicos de origen vegetal, con la finalidad de buscar soluciones más acordes a las necesidades de la sociedad, esto es, generar energía alternativa que no cause deterioro al medio ambiente, como los biocombustibles. Debido a que las fuentes de energía fósiles, como el carbón, el gas natural y el petróleo, se están sobreexplotando, se agotarán en breve, sin embargo, el CO_2 emitido, ya está perjudicando el medio ambiente y los primeros síntomas del cambio climático global son, cada vez, más evidentes.

Considerando la gran cantidad de desechos orgánicos generados en las casas y en la escuela, se desarrolló un proyecto en la Escuela Preparatoria Federal por Cooperación EMS 2/3 "El Chamizal", sobre el diseño de un biodigestor, para generar biogás, muy parecido al gas natural, es una mezcla inflamable de gases formada principalmente por metano (CH4), que se obtiene a partir de la descomposición de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y, por tanto, se reincorpora al ciclo natural de la materia; así como los fertilizantes resultantes del proceso de la digestión anaeróbica. Esto beneficia principalmente por la fuerte reducción de gastos energéticos.

En el año 2010 en la Universidad San Francisco de Quito el autor: Salamanca Tamayo, Jairo Andrés, presento una tesis con el tema: Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para la generación de biogás y fertilizante orgánico, con la finalidad del: diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para la generación de biogás y fertilizante orgánico por medio de la digestión anaeróbica de desechos orgánicos animales y vegetales. En la primera parte se diseñó y construyó el biodigestor con todos sus equipos y accesorios como son bombas, tanques de almacenamiento, contador de gas, etc., además del sistema de control. Una vez construido se prosiguió con la puesta en marcha en frio para la comprobación del sistema, y finalmente la puesta en marcha en caliente y la operación del proceso. Durante estos dos últimos pasos se investigó la biodigestión

de los desechos orgánicos con una mezcla definida entre la materia orgánica animal y vegetal para maximizar la producción de biogás.

En el año 2010 el investigador Omar Guillermo Chiriboga Novillo, presento en la Universidad San Francisco de Quito, una tesis con la temática: Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas, que tenía como objetivo, el estudio de la mezcla óptima de desecho de fruta y estiércol de vaca para la producción de biogás y biol fertilizante mediante biodigestión anaerobia en el rango mesofílico. Obtenidos estos resultados se prosigue con el diseño de una planta semi – industrial para el tratamiento de los desechos. Los desechos de fruta utilizados en la investigación comprenden: mora, guanábana, naranjilla y tomate de árbol. Los estudios realizados en reactores batch muestran que la mezcla óptima de desecho de fruta con estiércol de vaca es de 1:1; mientras que los estudios realizados en reactores semicontínuos muestran que la mezcla óptima de desecho de fruta con estiércol de vaca. La composición óptima de la mezcla de desecho de fruta es de 1:1 mora con guanábana y la fase en la que se debe llevar a cabo la biodigestión es sólida.

En el año 2010 en la Universidad del Azuay los investigadores Proaño Piñeiros José y Toro Peralta Jorge, presentaron una tesis con el tema: Diseño y automatización de un Biodigestor, la misma que consistía, en la descomposición de materia orgánica que es utilizada para la producción de biogás en el interior de un biodigestor. El presente trabajo diseña, implementa y automatiza un biodigestor, empleando un diseño experimental 2k a escala, controlado electrónicamente a través de un firmware desarrollado en LabView. Se obtiene una nueva fuente de energía, controlando su temperatura, tipo de inoculo, pH y tiempo de permanencia mediante sensores electrónicos, obteniendo datos para su correspondiente análisis, logrando obtener las interacciones más favorables para una correcta fermentación, siendo colocadas estas interacciones en la construcción de un biodigestor.

En el año 2011 los autores: Víctor Daniel Córdova Gallardo y Fausto Rubén Tarco Maigua, presentaron en la Universidad Técnica de Cotopaxi unidad académica de Ciencias de la Ingeniería y aplicadas, una tesis con el título, Diseño de un biodigestor

para el tratamiento de los residuos albañales generados en la residencia de la universidad de Pinar del Río como una alternativa energética para el cocido de alimentos, su objetivo era reducir y aprovechar los factores de la residencia estudiantil que presenta un potencial de biomasa, como lo es la excreta humana, que puede ser aprovechado mediante las descomposiciones bioquímicas. A partir de una estimación del potencial de biomasa generada en el área, se selecciona el modelo de biodigestor a utilizar y a través del cálculo y dimensionamiento se logra el diseño de un biodigestor para la producción de biogás, a partir de la fermentación anaeróbica de la excreta humana producida en la residencia de tal forma que el biogás obtenido puede ser utilizado para la cocción de alimentos.

También en el año 2011 en la universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, el investigador Víctor Hugo Vásquez Cepeda, presento su trabajo de tesis con el tema: "Sistema de tratamiento de desechos biodegradables para generación de biogás en la finca San José" del cantón Shushufindi" misma que sus objetivos eran, Realizar un estudio sobre los desechos biodegradables generados en la finca, así como efectuar una investigación sobre la generación de Biogás con desechos biodegradables y plantear una propuesta de solución que permita tratar los desechos biodegradables utilizando un Biodigestor para la generación de Biogás en la finca San José.

En el año 2011 el autor: Marco Fabricio Garzón Guji, presentó en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, una tesis con el tema: "Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la Facultad de ingeniería civil y mecánica de la Universidad Técnica de Ambato", cuya finalidad era, realizar prácticas de energías alternativas en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a más de ello permite incrementar conocimientos en los estudiantes sobre los biodigestores generadores de gas metano que existen en el mercado para que el alumno al finalizar la carrera tenga conocimientos amplios sobre el tema y pueda desenvolverse sin complicación en su lugar de trabajo. El biodigestor generador de gas metano es una máquina que consta de sistemas principales de operación que son: la niquelina que es utilizada para calentar el abono orgánico, un

manómetro y termómetro que nos permiten medir temperaturas y presiones establecidas.

En el año 2012 el investigador, Diego de la Merced Jiménez, presentó en la Universidad Veracruzana Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, una tesis con el título: Evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo, misma que su finalidad era, diseñar un biodigestor para instalarse en las comunidades rurales, con el fin de producir biogás para la cocción de sus alimentos; por lo que no existen datos de los parámetros y variables. Se realizó la evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo, alimentado con estiércol de vaca y agua. Se realizaron tres corridas de experimentación. En la primera, segunda y tercera corrida se midió la temperatura del biodigestor y la temperatura del medio ambiente. En la tercera corrida, además, se midió el pH, DQO y la radiación solar. La dilución de la materia orgánica en la primera y segunda corrida fue de 2:1 y en la tercera 3:1. La temperatura de operación del biodigestor (21 – 40 °C), el pH (7.06 – 7.22) y la DQO (290 ppm) estuvieron dentro de las condiciones óptimas de crecimiento de las bacterias metanogénicas. Se observó que la radiación solar y la temperatura del medio ambiente no influyen en las condiciones de operación del biodigestor.

En el año 2013 la investigadora María Laura Moreta Criollo, presentó en la Universidad Internacional SEK, su tesis de grado con el tema: "Diseño de un biodigestor de estiércol porcino para una granja agrícola ubicada en el barrio la morita, parroquia de Tumbaco para el año 2012-2013" que tuvo como objetivo: mejorar las prácticas de gestión de estiércol para disminuir el impacto ambiental negativo, tales como la eliminación de residuos y olores, así como también reducir los riesgos de contaminación con patógenos humanos que pudieran encontrarse en el estiércol. Dado que hay diversidad de acciones ejecutables en el sector agropecuario, se ha observado que tanto suelo como agua mayoritariamente están contaminados por los residuos orgánicos próximos a estos, entonces se han convertido en un factor de riesgo para los diferentes recursos naturales que se relacionan directamente con esta actividad, ya que al no contar con el manejo y disposición final adecuada de

estos residuos, dichos recursos se ven directamente afectados, y por ende afecta a todo ser humano cerca a estos espacios. De esto, se forma la alternativa de un manejo ambiental, principalmente de los residuos que produce la actividad ganadera (estiércol), apoyando así al desarrollo de la Granja de Tumbaco, creando una alternativa limpia (biodigestor) para la producción de energías renovables y fertilizantes orgánicos que reduzca los costos por consumo de servicios básicos y fertilizantes químicos respectivamente dentro de dicho lugar.

En el año 2013 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el investigador Edwin Eyner Toala Moreira, presentó una tesis con el tema: "Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica.", cuya finalidad era: realizar el diseñó de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica, ubicado en la parroquia Nuevo Paraíso de la provincia de Orellana. El dimensionamiento del equipo se realiza a través de la construcción de un biodigestor a escala piloto utilizando el método cuantitativo para determinar los componentes principales del diseño, los materiales utilizados para el prototipo son: caneca plástica de 60 litros, tubería Pvc de ½ pulgada, manguera de conducción de gas, llave de paso y accesorios de acuerdo al requerimiento de las conexiones, sus características principales son la cámara de biodigestión donde se deposita el material orgánico, tubería de conducción de gas y una válvula de presión artesanal. El diseño utiliza un factor de seguridad del 5%, tiempo de retención de 40 días, obteniendo un resultado 4849 litros de capacidad, 1,54m de altura y 2m de diámetro, estas dimensiones se ajustan a tanques existentes en el mercado, el diseño se compone de 4 tanques plastigama de 5000 litros, constan de una línea de conducción de biogás, tuberías de drenaje y válvulas de escape de presión, y un tanque de almacenamiento de biofertilizante.

En el año 2013 en La Escola de Camins, el autor Aitor Díaz de Basurto Burgos, presento una tesis con el tema: Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya (Bolivia). En este trabajo se describe el diseño, la construcción y puesta en marcha de un biodigestor novedoso para tratar FORSU. Para ello, previamente se ha

realizado una extensa revisión de la literatura existente en el ámbito de la digestión anaerobia de los residuos sólidos orgánicos. El biodigestor Natural Loop, desarrollado y construido en Bolivia, es un reactor de bajo coste que trabaja en flujo pistón y que cuenta con un sistema de recirculación. La alimentación diaria del reactor se realiza con 100 kg de residuos del mercado de Tiquipaya (Cochabamba, Bolivia). Los resultados muestran un tiempo de retención hidráulico (TRH) y una velocidad de carga orgánica (VCO) teóricos de 75 días y 1,7 kg vs m^3 x día respectivamente. Este último valor es relativamente bajo en comparación con lo reportado en la literatura, mientras que el TRH es mayor a lo recomendado por otros autores para sistemas que tratan este tipo residuos.

En el año 2014 la autora Ana Carolina Araujo Lazcano, presento en la Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, una tesis con el título: Puesta en marcha de la planta semi-industrial de digestión anaeróbica en Latinoamericana de Jugos S.A. misma que tenía como objetivos lo siguiente: En este proyecto de tesis se realiza la puesta en marcha de una planta semi - industrial de digestión anaeróbica ubicada en la Industria Latinoamericana de Jugos S.A. (La Jugosa) para asegurar un arranque exitoso de la misma. Se inició con la verificación del cumplimiento del proyecto, mediante visitas a la fábrica del proveedor Inoxking para constatar la correcta construcción de los equipos principales según contrato. Se realiza la puesta en marcha en frío de la planta en la que se utilizó agua como materia para garantizar que todos los equipos y las unidades de control funcionen correctamente. Posteriormente, se efectúa la puesta en marcha en caliente con el uso de desecho de fruta, estiércol y agua, con el objetivo de hacer los ajustes necesarios para que el proceso de digestión anaerobia se ejecute óptimamente.

En el año 2014 el autor Eduardo Verdezoto Carvajal, presento en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias escuela de Ciencias Químicas, una tesis con el título “Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca los laureles en la comunidad flor del Manduro”, misma que tenía como objetivo principal, Diseñar un Biodigestor para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno en la finca los laureles en la comunidad flor del Manduro. El diseño del BIODIGESTOR en la finca

los LAURELES quedará listo para su ejecución, generando abono orgánico, satisfaciendo las necesidades básicas de la finca y sectores aledaños, beneficiando la productividad de los cultivos evitando contaminar los recursos naturales para mantener un equilibrio Hombre-Ambiente.

2.2 Comentario

Según la revisión de la literatura sobre el estado del arte podemos concluir que un biodigestor es un Tanque, el cual cerrado herméticamente va a generar gas ya que los desechos orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano. Lo que hace el biodigestor es proporcionar un ambiente con condiciones de temperatura de entre 20 y 60 grados Celsius, libre de oxígeno y con un pH neutro para que las bacterias que ya están dentro del tanque se descompongan y se conviertan en metano y abono.

Este gas es también llamado biogás. El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera ciertos residuos con un alto grado de concentración de nutrientes el cuál puede ser utilizado como fertilizante, ya que por el tratamiento anaeróbico (es decir sin oxígeno) los malos olores son eliminados.

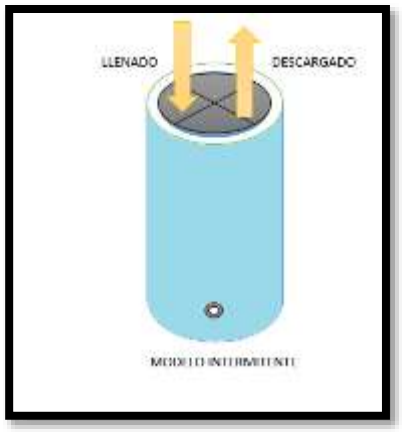
CAPITULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Propuesta de construcción del biodigestor

El Biodigestor construido es de tipo semicontinuo, la carga de la totalidad del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del biogás se hace al finalizar el proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente existen fuentes alternativas para suplirlo.

Se procede a este tipo por su movilidad para fines educativos, de procesos de pruebas y de fácil entendimiento.

IMAGEN Nº 7 Construcción del Biodigestor



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Autor

Este tipo de digestor se carga una vez y se descarga cuando concluye el proceso de fermentación; tiene un solo orificio, el que se tapa y se destapa para cada carga.

La permanencia de la carga fluctúa entre un promedio de dos meses según el clima. En este sistema es la misma materia orgánica la que permanece de principio a fin, por lo que no hay un reemplazo del contenido que permita una sostenibilidad en la

generación del biogás. Cada metro cúbico ($1m^3$) de materia orgánica produce alrededor de medio metro cúbico ($0.5m^3$) de biogás.

3.2 Formulas

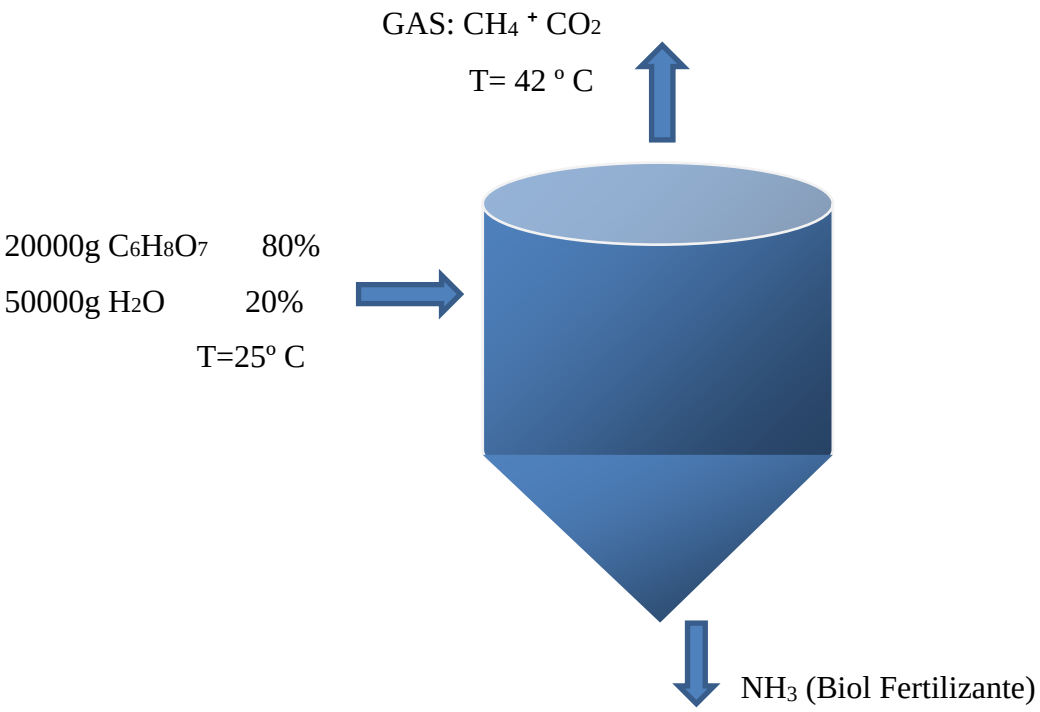
Reacción General del proceso

Ácido Cítrico

Mezcla { Naranja / Mango }

Acido = 20kg = 20000g

Cítrico= 5kg H2O = 5000g



Balance de Materia

E-C= S

E= entra Ppm $C_6H_8O_7$= 192g/mol

C= consume Ppm CO_2 =44g/mol

S= Sale Ppm CH_4= 16g/mol

$$20000\ g\ C_6H_8O_7 \times \frac{1\ mol\ C_6H_8O_7}{192\ g\ C_6H_8O_7} \times \frac{2\ mol\ CH_4}{1\ mol\ C_6H_8O_7} \times \frac{16\ g\ CH_4}{1\ mol\ CH_4} = \mathbf{3333.33g\ CH_4}$$

$$20000\ g\ C_6H_8O_7 \times \frac{1\ mol\ C_6H_8O_7}{192\ g\ C_6H_8O_7} \times \frac{4\ mol\ CH_4}{1\ mol\ C_6H_8O_7} \times \frac{44\ g\ CO_4}{1\ mol\ CO_4} = \mathbf{18333.33g\ CO_2}$$

20000g $C_6H_8O_7$ + 50000g H_2O – **C**= 3333.33g CH_4 + 18333.33g CO_2

C=3333.33g

E-C= S

20000g $C_6H_8O_7$ + 5000g H_2O –3333.33g=NH_3

NH_3= 21666.66g

Carga Orgánica = Q

$$Q = \frac{V}{TRM}$$

V= Volumen del proceso del biodigestor

TRM= Tiempo de retención en días

V= $\pi r^2 h$

V= $\pi(39)^2(120)$ =573112.8 cm^3 = **573 *lt* = capacidad Biodigestor**

Q= $\frac{573112.8\ cm^3}{30\ días}$ = 19103,76 $cm^3/_{días}$

Caudal de Alimentación (litros/días) V°

$$V^{\circ} \quad \frac{CO\ V\ rl}{C} =$$

CO= Carga Orgánica suministrada ($Kg/m^3\ día$)

Vrl= Volumen del reactor (L)

C= Concentración de la alimentación (g/lt)

$$V^{º} = \frac{1 \times 10^{3}\ día \times 573\ lt}{1.665\ Kg/lt} = 0,34\ lt/dia$$

Volumen del Biogás producido

V biogás= $\frac{n\ R\ T\ r}{P_R}$

n= número de moles del bogas (moles)

R= Constante de boltzmann

Tr= Temperatura de la mezcla reactiva (˚K)

P_R= Presión de la cabeza de gas dentro del reactor

Datos:

$$\frac{\mathbf{3333.33g\ CH_4}}{\mathbf{16g/mol}} = 208.33\ mol\ CH_4$$

$$\mathbf{P_R}= \quad 14\ \frac{lb}{pulg^2} = 1\ \frac{atm}{14.69\ \frac{lb}{pulg^2}} = 0.95\ atm$$

Tr= 25ºC+273= 298ºK

$$\mathbf{V\ biogás}= \frac{208.33\ mol\ CH_4 \left(0.082\ \frac{atm.lt}{mol/ºk}\right)(298\ ºK)}{0.95\ atm}$$

V= 5358.6 lt (producido en 3 meses) x día/59,54 lt

Balance de energía

$$Q= \sum \Delta H\ (P) - \sum \Delta D\ (R) + \sum \Delta H\ reacción$$

$$C_6H_8O_7 + H_2O \rightarrow 2CH_4 + 4CO_2 + H_2$$

5 (g) (g)

$$\Delta HR= \sum \Delta H\ (P) - \sum \Delta D\ (R)$$

$\Delta HR= H°f\ C_6H_8O_7 + H°f\ H_2O - H°f\ 2(H_4) + H°f\ 4\ CO_2$

$\Delta H°f\ CH_4\ (g) = -79.91$ Kj/mol.g ÷ 4.186 = -19.1 Kcal/mol.g

$\Delta H°f\ C_6H_8O_7 = 3302$ Kj/mol.g ÷ 4.186 = 788.82 Kcal/mol.g

$\Delta H°f\ C_6H_8O_7 = 474.6$ Cal

$\Delta HR= 788.82+(-68.3174)-[2(-19.1)+4(-94.0518)]$

$\Delta HR= 719.50 – [-38.2+(-376.20)] =1133.9$ Kcol/mol.g (Reacción Exotérmica).

Cálculo temperatura de Salida

Qp=Qg

$C_6H_8O_7$ Cp (T-25) mH_2O cp(t-25) = mCp(T-25) + mCO_2 CP(T-25)

$CPH_2O = 1000 \frac{Kcol}{g.C}$

T salida= 130˚C

3.3 Proceso de construcción

Los biodigestores han de ser diseñados de acuerdo a su finalidad, disposición y a la temperatura para el trabajo requerido.

Un Biodigestor puede ser diseñado para eliminar todo los desperdicios que se generan a diario en nuestros hogares, restaurantes, puestos de comidas etc. Así como en este caso utilizaremos los residuos de las cascaras de naranjas y mangos que se generan a diario en los mercados y puestos de la ciudad de Guayaquil.

Ya sabemos que se requieren 50 kilos de cascaras de naranjas y mango para obtener 35 minutos de consumo de gas. La temperatura ambiente en que va a trabajar el Biodigestor indica el tiempo de retención necesario para que las bacterias puedan digerir la materia. En ambientes de 30 °C se requieren unos 20 días de tiempo de retención, a 32 °C, la temperatura de trabajo es de unos 21 °C de media, y se requieren 55 días de tiempo de retención. Es por esto, que para una misma cantidad de materia prima entrante se requiere un volumen cinco veces mayor para la cámara hermética en el altiplano que en el trópico.

3.4 Materiales a utilizar en la construcción del Biodigestor

VÁLVULAS:

VÁLVULAS ROSCABLES DE BOLA ACERO INOX, ½”

VÁLVULAS ROSCABLES BOLA DE ACERO, ¼”

ACOPLES

NEPLOS, CEDULA-40, Ø1/4”

UNIONES, CEDULA-40, Ø1/4”

ACOPLE MACHO Ø1/4 X38mm

CODOS ACERO INOX ¼”

MEDIDORES

MANÓMETRO 0 – 15 PSI, BR 2 ½”, T VERTICAL

TERMÓMETRO 0 – 100° C

VARIOS

MANGERA PARA GAS

PLATINA DE ½”

SOLDADURA AGA 6011, 5kg

VARILLA INOX LISA ½”

VALDES DE PVC (PARA TRASPORTES DE MATERIA PRIMA), X 4

TUERCA ½”

PERNOS ½”

PLANCHA ACERO INOX 1500X3957X2

SILICON ROJO 30 MZ

TAPAS INOX BOMB 750X2mm

IMAGEN Nº 8 Biodigestor diseño final

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Autor

3.5 Partes del equipo

El Biodigestor de flujo semicontinuo, consta de la parte mezcladora y otra parte anaerobia que funciona como la zona de fermentación y gasificación de la materia orgánica en gas.

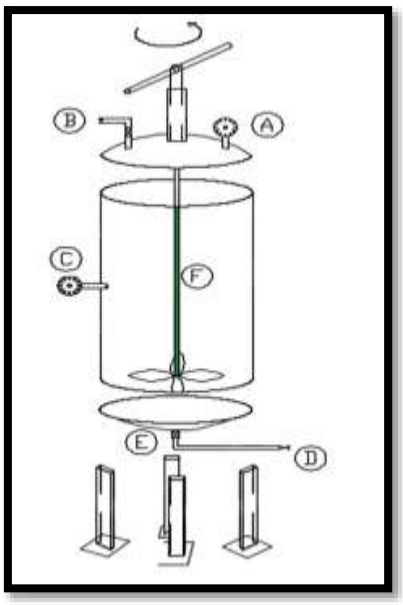
Adicional el tanque anaerobio tiene una conexión para salida alterna de acuerdo a las necesidades y demandas que se presenten al momento de disponer de este gas. También tiene una conexión para la adaptación de un conector de tanque estándar de GLP para conectar cualquier tipo de cocineta para el uso de gas.

Las conexiones se las realizó con accesorios en este caso dos válvulas de material galvanizadas para la salida de gas y evacuación del líquido biol.

Las demás concesiones para controles como manómetros y medidor, se realizan con acoples de acero. Luego de tener el equipo montado con todos los accesorios se procede hacerle una estructura de soporte metálica para facilitar su estabilidad.

El tiempo de adquisición de los componentes del digestor demoró 20 días y el tiempo de construcción del equipo duro 1 mes debido a prueba y cambios de diseño. Por lo que en total de construcción se demoró 1 mes y 20 días en periodos de trabajo.

IMAGEN Nº 9 Componentes del Biodigestor



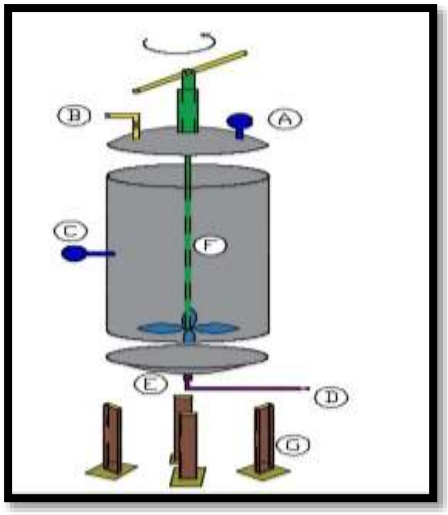
Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Autor
A: Manómetro
B: Salida de gas metano
C: Termómetro
D: tubería para la salida del compost o biol
E: Salida del compost
F: Mezcladora tipo rejilla

El diseño consta con accesorios de ACERO INOXIDABLE Y GALVANIZADO, lo cual aumenta la durabilidad del equipo y tiende a no oxidarse la materia orgánica.

El tanque consta de un agitador tipo rejilla el cual evita salpicaduras durante la mezcla, adicionalmente tiene una salida para la biomasa liquida de 1 ½".

La parte anaerobia consta con una salida de gas conexión ¼”, un manómetro conexión ¼”, un termómetro conexión ¼”, y una válvula de escape de compost de 1 ½”.

IMAGEN Nº 10 Diseño final de Biodigestor



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Autor

Diseño 2D, realizado en AutoCAD para determinar cómo realizar las conexiones e identificar ubicaciones de elementos y salidas de gas.

IMAGEN Nº 11 Pruebas de hermeticidad

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Autor

Prueba realizada al tanque anaerobio

Presión de prueba: 14 PSI
Tiempo de duración de la prueba: ½" hora Equipos utilizados:
Compresor de aire
Válvula de seguridad
Manómetros
Agua con espuma para verificar fugas de aire
Proceso de mezclado.

La mezcla se la realiza con las cascaras de naranjo y mango por su fácil recolección y por encontrarse en grandes cantidades.

En este estudio realizado se utilizaron las cáscaras de naranja y mango, el cual fue obtenido de los desperdicios que se encuentran en los mercados donde estos desechos son depositados en vertederos de basura, sin conocer los beneficios que este nos puede brindar.

IMAGEN Nº12 Llenado de la biomasa

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Autor

La relación utilizada fueron cascaras de naranja, mango y agua durante 3 min se mantuvo en agitación hasta alcanzar una homogeneidad en el interior logrando así un volumen de biomasa de 0.02835m cúbicos para el tanque de fermentación.

IMAGEN Nº 5 Recolección de la materia prima

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Autor

La recolección de la materia prima se la realizo de los mercados y puestos de la ciudad de Guayaquil en especial del mercado de la caraguay donde pudimos darnos cuenta que hay bastante desperdicio de este tipo. Sin darle ninguna disposición final

IMAGEN Nº 14 Mezclado de la biomasa

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Autor

La mezcla de la biomasa de estos residuos orgánicos se la realizo durante 20 minutos, se utilizó agua potable sin cloro para optimizar la eficiencia del equipo.

3.6 Proceso de fermentación

La biomasa se almacena en el interior de la cubeta anaerobia aproximadamente 30 días, tiempo suficiente como para comenzar la producción de gas metano.

Cada semana, se podría considerar los pasos de fugas en el ordenador utilizando una mezcla de agua con una solución jabonosa hojas que se propaga por todo el depósito para comprobar las burbujas que podría indicar las posibles fugas de gas que puede ser una pérdida generada la eficacia del equipo.

Después de la fermentación de la biomasa total se pone a consumir el gas generado en una cocina industrial para comprobar la eficacia del equipo, la llama duró unos 30 minutos y el depósito ha obtenido una presión de 14 psi durante 30 días.

3.7 Proceso de limpiado del equipo

Después de haber utilizado todos los biogás es un material llamado compost que es un cóctel de mezclas líquidas ricas en nutrientes que sirven de material de abonos deben ser evacuados con agua para acelerar la salida.

Este abono orgánico puede recogerse para otros beneficios que también son productos de valor añadido para continuar los ciento cientos de utilización del tema entró pronto en el proceso.
Una vez que el depósito está limpio, está dispuesto a volver a ser reutilizado, hacer de la fermentación y continuar el proceso cuantas veces sea necesario.

3.8 Referencias de los ensayos

3.8.1 Pruebas iniciales

La primera investigación para la comprobación de la generación de biogás, se realizó en la Ciudad de Guayaquil, en el mercado de Caraguay, donde realizamos nuestras primeras recolecciones y luego del tiempo de fermentación investigado se llegó al producto deseado usando un Biodigestor piloto el que nos dio la información de la cantidad de gas que nos podía ofrecer dicho diseño.

Cantidad de cáscara de naranja usada **10kg**
Cantidad de cáscara de mango usada **10kg**
Cantidad de agua potable **5Lts**

Resultados de análisis:

Cantidad de biogás:
Día # 15 **6 PSI**
Día # 30 **14PSI**
Duración del gas **30 min.**

Una de las pruebas se realizó en un taller mecánico situado en las calles Chimborazo y 4 de noviembre de la ciudad de Guayaquil donde los resultados iniciales fueron:

Datos Iniciales.

Tanque anaerobio

Prueba 1

Cantidad de cáscaras de naranja **10 kg**
Cantidad de cáscaras de mango **10 kg**

Agua potable **5 Lts**

Temperatura **28-40 º C**

Presión del equipo:

Inicial 0 PSI

FINAL 6 PSI

Duración de biogás 12 min. Llama a fuego medio

Prueba 2

Cantidad de cáscaras de naranja **15 kg**

Cantidad de cáscaras de mango **15 kg**

Agua potable **5 Lts**

Temperatura **28-45˚C**

Presión del equipo:

Inicial 0 PSI

FINAL 9 PSI

Duración de biogás 20 min. Llama a fuego medio

Prueba 3

Cantidad de cáscaras de naranja **20 kg**

Cantidad de cáscaras de mango **20 kg**

Agua potable **10 Lts**

Temperatura **28-48˚C**

Presión del equipo:

Inicial 0 PSI

FINAL 14 PSI

Duración de biogás 35 min. Llama a fuego medio Resultados de la investigación

Grafica de resultados

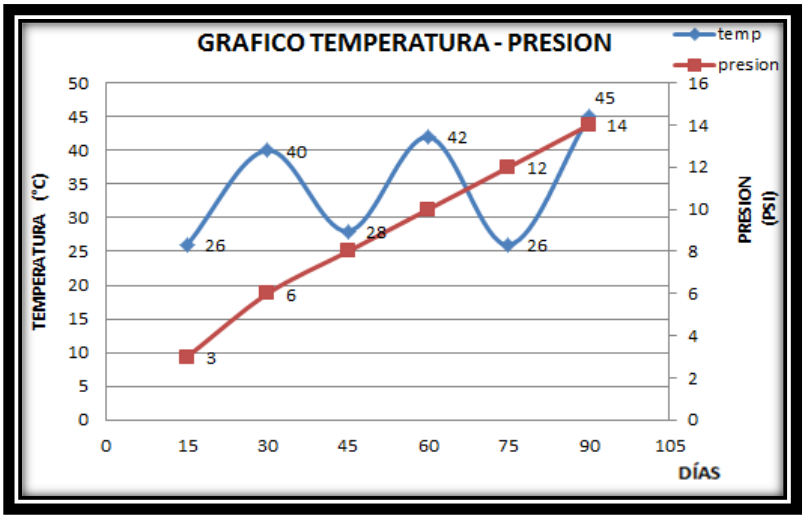
CUADRO Nº 2 Curva de generación del gas

	PRUEBA 1	**PRUEBA 2**	**PRUEBA 3**
MASA	25 Kg	35 Kg	50 Kg
PRESION	6 PSI	9 PSI	14 PSI
TEMPERATURA	40 °C	45 °C	48 °C
TIEMPO	30 DIAS	30 DIAS	30 DIAS
TIEMPO DE DURACIÓN	12 MINUTOS	22 MINUTOS	35 MINUTOS

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Autor

DIAGRAMA Nº 2 Presión -Temperatura



Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Autor

Las primera prueba se empleó en el mes junio donde la temperatura tubo una máxima de 40˚C, por lo que el tiempo de retención de la biomasa y su fermentación se alargó por un periodo de 30 días, produciendo así 6 PSI de presión en el tanque anaerobio.

la segunda prueba se empleó en el mes de julio donde la temperatura aumento por los 45 grados centígrados, y la masa fue de 30 Kg, donde se le aumento 5 Kg más de agua por la cantidad de masa, alcanzando así una presión de 9 PSI y el tiempo de gasificación fue de 22 minutos.

En la tercera y última prueba fue en el mes agosto donde así mismo la temperatura se mantuvo no vario y alcanzo los 45 grados centígrados donde se le aumento 10 kg más de agua y una masa de 40 Kg donde sorprendentemente la duración del gas fue de 35 minutos llama baja.

Fórmulas a emplear

$CP = \frac{Q}{m.\Delta T} =$ NARANJA

$Q = m.cp.\Delta T$

$CP = \frac{Q}{m.\Delta T} =$ MANGO

T1 = 28° C
T2 = 45° C

$D = \frac{m}{v} = m = D.V$

$QT = QM + QN$

$\Delta T = m.cp.\Delta T$

$V = \pi.r^2.h$
M H2O = 4000g H2O

CP H2O $= \frac{1\ col}{g^8 C}$

La naranja

La naranja es la fruta que más se produce en el mundo y la de mayor consumo per cápita (FIRA, 2003). Proviene del sureste de Asia y pertenece al género de Citrus de la familia de las Rutáceas (*Rutaceace*). Entre los diferentes tipos de naranja, las variedad de naranja dulce (*Citrus sinensis*) es la más importante a nivel comercial. Según datos de la FAO (2004), el Ecuador ocupa el puesto 24 en el ranking mundial de productividad de naranja con 23820 Ha de superficie de cosecha (Heredia, 2010).

Generalidades

La naranja tiene una forma esférica de un diámetro que oscila entre 6 a 10 cm, es más pequeña y dulce que el pomelo o toronja y más grande, aunque menos perfumada, que la mandarina. Existen numerosas variedades de naranjas en la que su color y sabor difiere de acuerdo a la variedad.

CUADRO Nº 3 Variedades de Naranja

Variedad	Características
Navel	Son de gran tamaño, con tonos entre naranja pálido hasta naranja intenso, no tienen semilla, se prefiere el consumo en fresco de la fruta y no el zumo o jugo de ella.
Blancas	Su tamaño es mediano y grande, tiene una coloración amarilla, posee un zumo de excelente calidad, pero un alto contenido de semillas en su interior.
Sanguínea	Se la cultiva únicamente en el Mediterráneo, son de características similares a las "blancas", pero se diferencian en el color de la pulpa, que es roja en su interior y son muy dulces.

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

Fuente: Heredia, 2010

Propiedades

Es un cítrico con propiedades refrescantes y un importante valor nutricional, contiene fibra y minerales necesarios para una dieta balanceada como son potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), además de un alto contenido de vitamina C y ácido fólico.

Igualmente contiene cantidades apreciables de flavonoides (sustancias biológicas naturales con potencial para reducir el riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares) y β-caroteno, el cual le da su color anaranjado y posee propiedades antioxidantes, que se transforma en vitamina A conforme el cuerpo lo necesita, y es esencial para la visión, el buen estado de piel, cabello, huesos, mucosas y el buen funcionamiento del sistema inmune (Asociación Nacional del Café, 2004).

Cáscara de la naranja

Generalmente la cáscara de naranja es utilizada como alimento para aves y ganado, siendo una fuente potencialmente significativa en el contenido de proteína de origen unicelular, puede ser sometida a un proceso fermentativo, debido a que la cáscara de naranja contiene una cantidad de carbohidratos que la hace atractiva como sustrato **(Cornejo, 1984).**

Se conoce de algunos constituyentes de la cáscara de naranja como pigmentos carotenos, vitaminas y aceites esenciales, así como también celulosa, carbohidratos solubles, pectina, aminoácidos, azúcares y minerales como se muestra en la Tabla 1.6, cada uno de estos componentes se encuentra en diferente proporción dependiendo de la capa del tejido de la cáscara **(Cornejo, 1984).**

CUADRO Nº 4 Composición de la cáscara de naranja

Componente	**%**
Humedad	20,98
Azúcar	15,00
Pectina	20,93
Celulosa	10,59
Almidón	< 1,00
Proteína	6,53
Ceniza	3,78
Sólidos volátiles	96,22
PH	4,30
Magnesio	9,32
Fósforo	9,13
Azufre	3,86
Cloro	0,30
Potasio	17,97
Calcio	58,37
Hierro	0,79
Zinc	0,36

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy
Fuente: Mahmood, 1998

El Mango

El mango es reconocido actualmente como uno de los 4 frutos tropicales más finos. Ha estado bajo cultivo desde los tiempos prehistóricos. Las Sagradas Escrituras en Sánscrito, las leyendas y el folklore hindú 2.000 años A.C. se refieren a él como de origen antiguo, aun desde entonces. El árbol de mango ha sido objeto de gran veneración en la India y sus frutos constituyen un artículo estimado como comestibles a través de los tiempos. Aparentemente es originario del noroeste de la India y el norte de Burma en las laderas del Himalaya y posiblemente también de Ceilán.

Generalidades

Este fruto carnoso, sabroso y refrescante, es también conocido como "melocotón de los trópicos". Es el miembro más importante de la familia de las Anacardiáceas o familia del marañón, género Mangifera, el cual comprende unas 50 especies, nativas del sureste de Asia e islas circundantes, salvo la Mangifera africana que se encuentra en África. Está reconocido en la actualidad como uno de los tres o cuatro frutos tropicales más finos.

Propiedades

Es un anti-oxidante y anti-cáncer. Esto es un fruto rico en ácidos como málico y mirística, la vitamina A y vitamina C, que dan al cuerpo a combatir los radicales libres y a una lucha eficaz contra el cáncer, gracias a estas vitaminas y flavonoides como la quercitina.

Entre las propiedades de la empuñadura, es que las sustancias nutritivas: 0,40 mg notable. Hierro, 0,63 g. de las proteínas, 12 mg. calcio, 1,70 g. fibras, 170 mg. potasio 1,60 mg. El yodo, de 0,12 mg. el zinc, 12,80 g. Los hidratos de carbono, 18 mg. magnesio 5 mg. el sodio, 207,17 pg. la vitamina A, 0,05 mg. la vitamina B1, 0,05 mg. la vitamina B2, 0,66 mg. Vitamina B3, 0,16 UG. La vitamina B5, 0,13 mg. de vitamina B6, de 36 ug. Vitamina B9, 37 mg. La vitamina C, de 1 mg. vitamina E, 0,70 UG. la vitamina K, 13 mg. fósforo 61,13 kcal. Contenido en calorías, 0,45 g. grasa y 12,50 g. azúcar.

Cascara de mango

Una gran cantidad de nutrientes se encuentran presentes en la cáscara de mango, para sorpresa de muchos; quienes desconocen los beneficios de comer esta rica fruta y su cáscara. Como poseer una gran cantidad de beta carotenos, los que se sintetizan y transforman en vitamina A; además el mango tiene altos niveles de Vitamina C, fibra, magnesio y potasio.

Si comemos 100 gramos de mango, ayudaremos a nuestro cuerpo, 65 calorías, 0,5 gramos de proteínas, grasas 0,3 gr, 28 miligramos de vitamina C, 17 gramos de carbohidratos y vitamina A

3.9 Diseño del manual de manipulación del equipo

Precauciones:

- Mantener siempre visible los manómetros de presión del equipo.
- Revisar constantemente si existe fuga en el tanque.
- Revisar constantemente la válvula de control de agua.
- Mantener las llaves de paso bien cerradas en caso de no usar el digestor.
- Cuando se utilice el Biodigestor recordar abrir las válvulas de paso del equipo y las de la hornilla.
- Mantener constante vigilancia el gas para evitar explosiones.
- Colocar el digestor en un lugar abierto, ventilado y despejado.
- Mantener limpio y ordenado el lugar donde se encuentre el equipo.
- No dejar materiales inflamables alrededor del equipo. Colocarlos en lugar seguro y donde no obstruyan el paso.
- Cuando se va a limpiar el equipo no olvidar cerrar las válvulas de descarga que se encuentran debajo.

El biogás es un gas inflamable y tóxico. Siempre se debe verificar que se han cerrado las llaves de paso del quemador después de cocinar. Una válvula abierta produce un escape de gas que nos puede asfixiar y provocar un incendio.

Ficha Internacional de Seguridad del metano

METANO (licuado) ICSC: 0291
METANO (licuado) (botella) CH_4 Masa molecular: 16.0
CAS: 74-82-8 RTECS: PA1490000 ICSC: 1971
NU: 1971
CE: 601-001-00-4

CUADRO Nº 5 Problemas y soluciones

Huele a biogás	Hay pérdida de gas, alguna valvula abierta o averiada.
Poco gas en el reservorio	Comprobar que hay agua en la válvula de seguridad para que no se escape el gas. Si hay alguna fisura detener todo funcionamiento.
No llega gas a la cocina	Abrir la llave para purgar el agua de la tubería de salida del biodigestor.
El biol presenta una nata (capa superficial dura)	Hace falta mezclar bien el compost antes de ingresarlo al tanque anaerobio.
Hay poca presión en la línea	Puede que la línea tenga obturaciones por lo que se debe colocar manómetros a la salida y a la entrada
El biodigestor no produce más gas	Ya se terminó la producción de gas del recipiente. Volver a llenar

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

3.10 Campos de aplicación del sistema

3.10.1 Impacto Ambiental

Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización, se considera como Impacto Ambiental.

Se debe considerar la diversificación energética y la posibilidad de contar con diferentes fuentes de suministro que permiten aplicaciones de uso más racional de la energía disponible. La aplicación de la cogeneración, ayuda a conseguir estos fines.

El término cogeneración se utiliza para definir aquellos procesos en los que se produce simultáneamente energía eléctrica y energía calorífica y/o frigorífica a partir de un combustible Diésel o gas.

La necesidad de incursionar dentro del campo de la conservación ambiental, debido al imparable crecimiento del consumo de energías no renovables, surge la aplicación de generación de biogás para suplir en parte el consumo de combustibles fósiles y reducir el impacto ambiental que estos producen tanto al ser obtenidos como los resultados, luego de sus combustiones.

3.11 Costos del biodigestor

CUADRO Nº 6 Costo unitario

ACERO INOX , ½	3	$ 3,00
ACERO, ¼	4	$ 4,00
VÁLVULAS ROSCABLES DE BOLA	2,45	$ 2,45
VÁLVULAS ROSCABLES DE BOLA	2,22	$ 2,22
NEPLOS, SCH-40, Ø1/4	2,54	$ 2,45
UNIONES, SCH-40, Ø1/4”	0,9	$ 0,90
ACOPLE MACHO Ø1/4 X38	1,5	$ 1,50
CODOS ACERO INOX 1/4	1	$ 1,00
MANÓMETRO 0 – 15 PSI, BR 2 ½ , T VERTICAL	20	$ 20,00
TERMÓMETRO 0 – 100˚ C	52	$ 52,00
MANGERA PARA GAS	2,5	$ 2,50
PLATINA INOX DE ½”,	10,2	$ 10,20
SOLDADURA AGA 6011, 5kg	30	$ 30,00
VARILLA INOX LISA ½”	5	$ 5,00
VALDES DE PVC (PARA TRASPORTES DE MATERIA PRIMA),	3	$ 3,00
TUERCA ½ X16	0,1	$ 1,60
PERNOS ½ X16	0,1	$ 1,60
SILICON ROJO 30 MZ	2,87	$ 2,87
PLANCHA INOX 1500X3957X2	306,78	$ 306,78
NEPLOS, SCH-40, Ø1/2” X2	2,68	$ 5,36
MANO DE OBRA		$ 150
TOTAL DE COSTOS		**$ 608,43**

Autor: Anthony William Gonzabay Valdiviezo y Pablo Moisés Suárez Monroy

CAPITULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Una vez terminada la investigación del Proyecto se determina lo siguiente:

-Con un equipo a escala de bajo costo se producirá gas, el cual es capaz de satisfacer ciertas demandas locales en los lugares de difícil acceso.

-Como resultado de toda la investigación es posible la reducción del consumo de energías no renovables en el País, conservando un porcentaje de la conservación del ecosistema circundante donde es aplicado un equipo como éste.

-Con la utilización de estos productos se hace factible la producción de biogás mediante el empleo de cascaras de naranja y mango, por los resultados obtenidos durante todas las pruebas realizadas en el biodigestor

El uso del biogás para la generación de electricidad y de energía térmica da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias. Los resultados económicos no se pueden generalizar pues cambiarán de acuerdo a las circunstancias de cada lugar.

El impacto del Biodigestor económico es muy importante por la adopción de la técnica y los resultados exitosos que depende de aspectos como localización (disponibilidad de combustible tradicional) y la manera en la que la tecnología se introduce, adapta y mejora según las condiciones locales y técnicas.

El biol contiene concentraciones adecuadas de nitrógeno, carbono y fósforo, característico de un buen abono, además de ser biodegradable.

4.2 Recomendaciones

Socializar y concienciar los beneficios del gas del biodigestor para mejorar la calidad de vida en la comunidad.

Es evidente que se emplee el biodigestor para la producción de energía alternativa evitando así la contaminación.

El uso del biogás para la generación de electricidad y de energía térmica permite ahorrar inversiones en el pago de la energía no renovable

Por seguridad revisar todos los componentes antes de poner en marcha el digestor ya que se estará manipulando gas y es un combustible volátil y de alto poder calorífico por lo que se deben tomar todas las seguridades descritas en el manual de operación.

Los proyectos de este tipo tienen gran marca social, económica y ecológica por lo que se debería continuar con estos tipos de proyectos.

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando su valor fertilizante y controlando, de manera considerable, los malos olores.

Países como China e India, emplean de manera tradicional el biogás como combustible para calefacción, cocina e iluminación. A la vez van reparando los suelos degradados a través de siglos de cultivo. Europa, EEUU y Argentina están desarrollando la investigación sobre las aplicaciones del biogás para mejoras en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, N. (2011). Diseño, construcción y operación de un digestor anaerobio piloto para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos del zoológico de Quito. Quito.

Aparcana, S. y Jansen, A. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "fermentación anaeróbica" para producción de biogas. Alemania.

Chinappi, I. y Jerez, A. (2009). Biodigestión anaeróbica de la pulpa de café. Propuesta de saneamiento ambiental y ahorro energético. Venezuela.

Chugandro, R. y Manitio, G. (2010). Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.

Pérez, J. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en ganaderos y lecheros. Chile

Potschka, J. & Acosta G. (2012). Energía limpia y fertilizante. Argentina.

Rivas, O.; Faith, M. y Guillén R. (2009). Biodigestores, factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Ecuador.

Rivera, M. (2010). Producción de abono orgánico y biogas mediante biodigestión anaeróbica de lodos activos. Chile.

http://www.textoscientificos.com (Consultado el 11 de julio del 2016)

http://palestra.pucp.edu.pe (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://www.biodisol.com/biocombustibles (Consultada el 4 de mayo del 2016)

http://www.engormix.com/MAporcicultura/manejo/articulos/biogasbeneficioseconomicos-utilizando-t1795/124-p0.htm (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://www.consciencia-global.blogspot.com/2010/11/basura-domestica-residuos-problemas.html (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://www.crisisenergetica.org Microsoft Encarta 2007 (Consultada el 14 de julio del 2016**)**

http://www.windows2universe.org/physical_science/chemistry/methane.html&lang= (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://www.ecologiaverde.com/el-potencial-del-biogas-en-espana/ (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://asociacionrodeo.wordpress.com/2011/08/02/utilizacion-de-los-residuos-forestales/ (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://diarioecologia.com/2009/11/energia-electrica-con-cascara-de-arroz/ (Consultada el 14 de julio del 2016

http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion (Consultada el 14 de julio del 2016)

http://www.windows2universe.org/physical_science/chemistry/methane.html&lang=sp(Consultada el 14 de julio del 2016

http://www.caribbeannewsdigital.com/noticia/el-mango.-sus-propiedades-nutritivas-y-los-beneficios-para-la-salu

https://www.buenasalud.net/2014/12/08/cascara-de-mango-propiedades.html

ANEXOS

ANEXO Nº 1

ANEXO Nº 2

ANEXO Nº 3

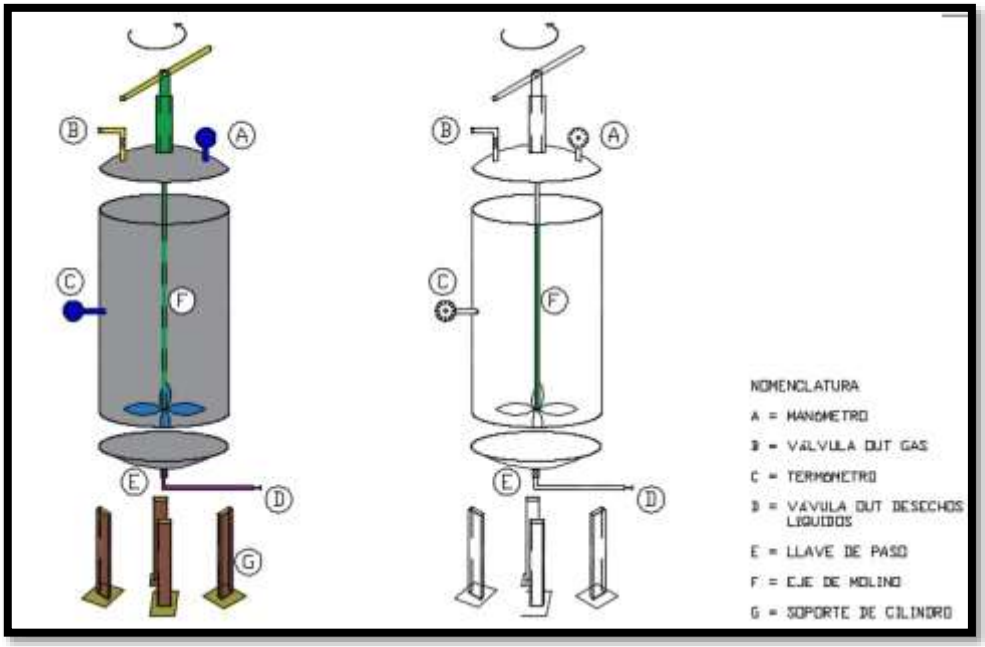
ANEXO Nº 4

ANEXO Nº 5

ANEXO Nº 6

ANEXO Nº 7

Biodigestor



ANEXO Nº 8

ANEXO Nº 9

ANEXO Nº 10