



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**ENERGÍA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**"DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACIÓN DE UN  
BIODIGESTOR SEMICONTINUO PARA LA GENERACIÓN DE  
BIOGAS CON LA FERMENTACIÓN ANAERÓBICA DEL  
ESTIERCOL DE CUY Y DE CONEJO PARA LA INSTITUCIÓN  
EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI"**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTOR :**

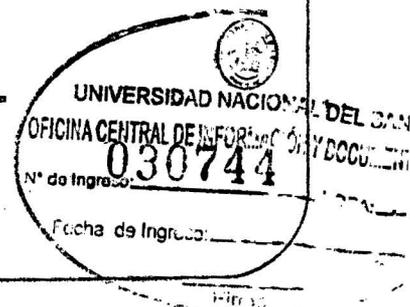
**Bach. VEGA ARQUIÑO, Jhon Alexis.**

**ASESOR:**

**M.Sc. CALDERON TORRES, Hugo.**

**CHIMBOTE - PERÚ**

**2015**



## AVAL

El presente Proyecto de Investigación: "DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN BIODIGESTOR SEMICONTINUO PARA LA GENERACION DE BIOGAS CON LA FERMENTACION ANAEROBICA DEL ESTIERCOL DE CUY Y DE CONEJO PARA LA INSTITUCION EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI" elaborado por el bachiller VEGA ARQUINO, Jhon Alexis; para obtener el título de Ingeniero en Energía en la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa, el cual a sido evaluado y considerado que está APTO para ser sustentado.

  
M.Sc. CALDERON TORRES, Hugo  
ASESOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN**  
**ENERGÍA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**  
**EVALUADOR DE TESIS**

Damos la Conformidad del presente informe, desarrollo en cumplimiento del Objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R N°471-2002-CU-R-UNS); intitulado:

Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero en Energía.

Título: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN BIODIGESTOR SEMICONTINUO PARA LA GENERACIÓN DE BIOGAS CON LA FERMENTACIÓN ANAEROBICA DEL ESTIERCOL DE CUY Y DE CONEJO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI”**

Tesista: Bach. **VEGA ARQUIÑO, JHON ALEXIS**

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador

  
.....  
**Mg. Amancio Rojas Flores**  
**PRÉSIDENTE**

  
.....  
**Mg. Robert Guevara Chinchayán**  
**SECRETARIO**

  
.....  
**Ing. Carlos Montañez Montenegro**  
**INTEGRANTE**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación constituye la búsqueda y solución de una tecnología para el uso de los residuos generados en la granja de la Institución Educativa Particular Cristiana Bereshi, para lo cual se diseñó y se construyó un biodigestor tipo chino para la obtención de biogás.

Se analiza, se adapta y hace viable la aplicación de la tecnología para mejorar la fermentación; utilizando las excretas de los cuyes y de conejos como materia prima para la producción de biogás, que sirvan como: fuente de energía. Todo ello priorizando el uso de los recursos locales y que sea asumible por la Institución Educativa Particular Cristiana Bereshi para su operación y mantenimiento lo cual ha significado trabajar en una metodología participativa involucrando al beneficiario en todo el proceso.

El desarrollo de la experiencia ha tenido las siguientes etapas:

- Análisis del estiércol de cuy y de conejo, para saber sus propiedades químicas y para el proceso de fermentación.
- Cálculo del dimensionamiento del Biodigestor modelo tipo chino.
- Construcción del Biodigestor en base a los datos obtenidos de la cantidad de mezcla a utilizar
- Experimentación e investigación en la etapa inicial de fermentación.
- Seguimiento de la metodología y proceso de la fermentación.
- Mejoramiento de la fermentación, para optimizar la producción de biogás.

Se obtuvo Biogás, con una producción total de 6m<sup>3</sup>, con una velocidad de producción de 0.194 m<sup>3</sup>/día y una concentración de metano del 55% dentro de la composición del biogás. a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo.

## ABSTRACT

The present research is the search and solution technology for the use of waste generated on the farm of the Christian Bereshi private educational institution for which it was designed and a Chinese type digester for biogas was built.

We analyze, adapt and make feasible the application of technology to improve fermentation; using excreta of the guinea pigs and rabbits as feedstock for biogas production, which serve as an energy source. All this prioritizing the use of local resources and be assumed by the private educational institution Christian Bereshi for operation and maintenance which has meant working in a participatory approach involving the beneficiary in the whole process.

The development of the experience had the following stages:

- Analysis guinea pig manure and rabbit, to know their chemical and fermentation process properties.
- Calculation of dimensioning Biodigestor Chinese model type.
- Construction of Biodigestor based on data obtained from the amount of mixture to be used
- Experimentation and research in the initial stage of fermentation.
- Monitoring methodology and process of fermentation.
- Improvement of fermentation to optimize the production of biogas.

Biogas is obtained, with a total production of  $6\text{m}^3$ , with a production rate of  $0.194\text{ m}^3 / \text{day}$  and a methane concentration of 55% within the composition of biogas. from the anaerobic fermentation of manure from guinea pig and rabbit.

## **DEDICATORIA**

*Con mucho amor y agradecimiento a **DIOS**, por su amor y su compañía en cada paso que doy en mi vida.*

*Con amor para mis Queridos Padres **JUAN MIGUEL VEGA GARAY (+)** Y **AMPARO LOURDES ARQUIÑO ROBLES** por el amor, sus sabios consejos, sacrificios brindados que son lo mejor en mi vida el cual recordare hoy y siempre con eterno amor.*

*Para **NATHALÍ** y **DIEGO VEGA ARQUIÑO**, mis hermanos que me brindaron su confianza y apoyo; desde el hogar.*

*Para **LORENA CRUZ BALLADARES**, de quien recibí el amor, apoyo y confianza para perseverar en mis ideales y del cual estoy muy agradecido.*

**JHON VEGA A.**

## **AGRADECIMIENTO**

*A MI ASESOR M.Sc. HUGO CALDERON TORRES, Por su ayuda y dirección en la realización del presente proyecto de investigación.*

*A la INSTITUCION EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI, por el apoyo brindado dentro de sus instalaciones, para realizar el proyecto de investigación.*

*A mis amigos y amigas de la universidad por haber compartido conmigo su amistad y su apoyo incondicional en todo momento.*

# ÍNDICE

	Pág.
Hoja de Conformidad del Asesor	ii
Hoja de Conformidad del Jurado	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
I. Introducción	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación e importancia	6
1.3 Lugar e Institución Donde se realiza el Proyecto	7
1.4 Formulación del Problema	7
1.5 Formulación de la Hipótesis	7
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo General	8
1.6.2 Objetivos Específicos	8
II. Marco Teórico	9
2.1 Biodigestor	9
2.1.1 Tipos de Biodigestores	9
2.1.1.1 Según su Construcción	9
2.1.1.2 Según su Operación	13
2.2 Biodigestores Tipo Chino	15
2.2.1 Características	15
2.2.2 Componentes	16
2.3 Biomasa	17
2.3.1 Clasificación de la Biomasa	18
2.3.2 Potencial de la Biomasa	19
2.3.3 Fuentes de la Biomasa	20
2.3.4 Procesos de la Biomasa	21
2.3.4.1 Biomasa Seca	22
2.3.4.2 Biomasa Húmeda	27
2.3.5 Conveniencia de Procesar la Biomasa	30
2.3.6 Riesgos por mal manejo de la Biomasa	30
2.4 Productos obtenidos en los Biodigestores	31
2.4.1 Biogás	31
2.4.1.1 Componentes presentes en el Biogás	32
2.4.1.2 Efectos del CO <sub>2</sub> en el Biogás	34
2.4.1.3 N <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> presentes en el Biogás	36
2.4.1.4 Amoníaco presente en el Biogás	36
2.4.1.5 Acido Sulhídrico presente en el Biogás	36
2.4.1.6 Reacciones Bioquímicas en la generación de Biogás	39
2.4.1.7 Ventajas y Desventajas del uso del Biogás	40

2.4.2	Biol	42
2.5	Proceso de Biodigestion	44
2.5.1	Proceso Aeróbico	44
2.5.2	Proceso Anaeróbico	45
2.5.2.1	Proceso de Biodigestion Anaeróbica	45
2.5.2.2	Bacterias que intervienen en el Proceso	48
2.5.2.3	Etapas de la Fermentación Anaeróbica	50
2.5.3	Factores que Influyen en la Fermentación Anaeróbica	55
2.5.3.1	Temperatura	55
2.5.3.2	pH y Alcalinidad	61
2.5.3.3	Relación de Carbono Nitrógeno (C/N)	63
2.5.3.4	Dilución o concentración de Solidos	64
2.5.3.5	Tiempo de Retención	65
III.	Materiales y Métodos	67
3.1	Recursos	67
3.1.1.	Recursos Humanos	67
3.1.2.	Materiales y Servicios	67
3.2	Metodología	69
3.2.1.	Diseño de Investigación	69
3.2.2.	Características del Biodigestor	70
3.2.3.	Método Analítico	70
3.2.3.1	Muestreo	70
3.2.3.2	Tipo de Muestra	71
3.2.3.3	Recipiente	71
3.2.3.4	Medición de Parámetros Físicos – Químicos in situ	72
3.3	Metodología para el Diseño de un Biodigestor	73
3.3.1.	Factores de Construcción	73
3.3.2.	Dimensionamiento	74
3.3.3.	Diseño Biodigestor Tipo Chino	79
3.3.3.1	Calculo de la Campana	80
3.3.3.2	Calculo del Cono Base	81
3.3.3.3	Calculo de la Pared	81
IV.	Cálculos para la construcción del Biodigestor	82
4.1	Calculo de la cantidad total de estiércol	82
4.1.1.	Materia Prima	82
4.2	Calculo del Volumen del Biodigestor	85
4.3	Calculo de la Producción de Biogás por día	85
4.4	Calculo Diseño Biodigestor tipo Chino	86
4.4.1.	Calculo de la Campana	87
4.4.2.	Calculo del cono Base	88
4.4.3.	Calculo de la pared del Biodigestor	89
V.	Costos, Construcción y Operación del Biodigestor	90
5.1	Evaluación Económica	90
5.2	Construcción del Biodigestor	93

5.3 Puesta en Marcha	96
VI. Resultados y Análisis	98
6.1 Resultados de los parámetros de campo	98
VII. Conclusiones, Recomendaciones y Discusiones	102
7.1 Conclusiones	102
7.2 Recomendaciones	104
7.3 Discusiones	106
VIII. Bibliografía	107
Anexos	109
Anexo I: Tablas de datos tomados en campo	110
Anexo II: Panel Fotográfico	151
Anexo III: Resultados de Análisis	168
Anexo IV: Procedimiento de los análisis en Laboratorio	172
Anexo V: Hojas de Seguridad	179

## I.- INTRODUCCION

En el Perú la demanda de energía es satisfecha por el consumo de energía proveniente de la combustión del petróleo y la producida por varias centrales hidroeléctricas, el costo de esta energía va en constante aumento por que el Perú no es autosuficiente en la producción de petróleo y se encuentra a merced de vaives del mercado y la construcción de centrales hidroeléctricas esta cerca al máximo de unidades operativas.

La energía contenida en la biomasa llamada comúnmente bioenergía, es la que se avizora como una fuente complementaria para la solución a la demanda de energía en un futuro próximo.

Se afirma que la calidad de vida del hombre esta en función a la cantidad de energía que consume. Este hecho origina que en las regiones carentes de energía eléctrica y de otro tipo de energía, las necesidades energéticas tengan que ser resueltas consumiendo reservas vegetales, desechos de la agricultura, o desechos de animales (estiércol seco).

La economía del país, caracterizada por el alto índice de desempleo, bajo poder adquisitivo y elevados costos de la energía, desarrolla una practica tradicional en las zonas rurales del Perú, a quemar leña, a usar carbón vegetal, desperdicios agrícolas, para satisfacer su demanda energética. Esta práctica soluciona momentáneamente este requerimiento, a la larga resulta peligrosa a la salud de las personas, produce una deforestación, deterioro a la calidad de los suelos de cultivo y desequilibra el medio ambiente.

Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (dos o tres vacas por ejemplo) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar.

También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera (Martí, 2008).

El potencial para el uso de la biomasa como fuente de energía en el Perú es bastante alto, en la actualidad la leña y la bosta representan una de las principales fuentes de energía en zonas rurales en el país.

La Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi se encuentra ubicada en una zona rural del sector La Perla, una de las actividades que realizan aparte de la enseñanza a los niños es que cuenta con zonas agrícolas y de crianza de animales, y brindan el servicio de comedor para sus estudiantes.

Una alternativa para solucionar en parte, el acceso a la energía térmica para cocción de alimentos en reemplazo de la leña y la bosta en sectores rurales y facilitar el acceso a fertilizantes es el uso de biodigestores, los biodigestores producen dos sub productos, el biogás que se puede utilizar como combustión para la cocción de alimentos, actividades productivas, iluminación o dependiendo del tamaño del biodigestor hacer funcionar motores de combustión interna adaptados para su uso, y el otro subproducto es el biol, el cual es un fertilizante líquido que incrementa la productividad agrícola y animal, lo cual ayuda a aumentar los ingresos de los agricultores agrícolas.

## 1.1 Antecedentes:

- Autor: Instituto De Investigación Tecnológica Industrial De Normas Técnicas (Itintec) Y La Universidad Nacional De Cajamarca (UNC) .1980 – Cajamarca – Perú

Tema: PROGRAMA DE BIOGAS

Objetivos y Logros:

Empezaron con la investigación y promoción de biodigestores familiares de domo fijo basándose principalmente en los modelos Chino e Hindú, siendo el primero el que mayor difusión debido a su menor costo; instalaron mas de 100 biodigestores en la región. Lamentablemente de todos los biodigestores instalados por la UNC durante esta época, solo uno se encuentra en funcionamiento, esto se debió, entre otras cosas, al mal enfoque que se le dio al proyecto, el cual se centro principalmente a la energía, dejando de lado las verdaderas necesidades de los usuarios.

- Autor: Instituto De Investigación Tecnológica Industrial De Normas Técnicas (Itintec) Y La Empresa Gloria– 1980 – Arequipa – Perú

Tema: PROGRAMA DE BIOGAS

Objetivos y Logros:

Para el caso de la empresa Gloria, se instalaron sistemas entre departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa, donde la empresa primero concientizo a los ganaderos, con los cuales trabajaba y después los vendió los biodigestores, la empresa capacito a asesores de campo para la construcción e ideo una forma mas sencilla y barata de construirlos. En la actualidad no se sabe exactamente cuantos siguen en funcionamiento, pero se piensa que también son pocos.

- Autor: Universidad Nacional del Santa (Martin – Vallejo ), 1999–  
Chimbote– Perú

Tema: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN OBTENCIÓN DE BIOGÁS  
CON ESTIÉRCOL DE VACUNO

Objetivos y Logros:

Se desarrollo el experimento con el mismo prototipo, aislado mediante una chaqueta de cascara de arroz, se empleo estiércol de vacunos, los resultados fueron positivos, en el sentido de que se obtuvo el metano, pero por la existencia de problemas de carácter técnico no superados, la producción de biogás (en volumen) de mando demasiado tiempo.

- Autor: Universidad Nacional del Santa (Cesar Falconí Cossío), 2000–  
Chimbote – Perú

Tema: OBTENCIÓN DE GAS COMBUSTIBLE EN BASE A LA  
FERMENTACIÓN ANAERÓBICA DEL ESTIÉRCOL DE  
PORCINOS EN UN BIODIGESTOR SEMICONTINUO

Objetivos y Logros:

Se produjo gas combustible (biogás), por fermentación anaeróbica del estiércol de porcino. Los 4 – 7 primeros días de fermentación se produjo gases no combustibles, producto de la degradación bioquímica de los componentes del substrato, que deben eliminarse para no entorpecer el proceso fermentativo. Se produjo la máxima producción de gas combustible aproximadamente a los siete días de fermentación. Todo el gas producido en el ensayo “A”, tiene un tiempo de combustión total de 3 horas 12 minutos. Mientras que el gas producido en el ensayo “B” tiene un tiempo total de combustión de 7 horas 36 minutos, en ambos casos el tiempo de fermentación fue de 44 días.

- Autor: Institut de Tecniques Energetiques ( INTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y el Instituto para una Alternativa Agraria (IAA) 2004, 2007 Cusco – Perú

Tema: PROYECTO PILOTO INTE

Objetivos y Logros:

Se realizo un pequeño proyecto piloto donde se instalaron 2 biodigestores de plástico polietileno (PET), los cuales a pesar de sus limitaciones, funcionaron adecuadamente. En el año 2007 se instalaron 13 biodigestores en la zona de Yanaoca. Paralelamente se instalo una planta piloto en el fundo K'ayra de la universidad San Antonio de Abad de Cuzco (UNSAAC), para la investigación de biodigestores tubulares.

- Autor: Bach. Pinedo Alejos Job Yaser – UNSAM Noviembre 2012 Huaraz – Ancash -Perú

Tema: MEJORAMIENTO DE LA PRE FERMENTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIOL, BIOSOL Y BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR DE MANGA – ACOPAMPA - CARHUAZ – ANCASH.

Objetivos y logros:

Se realizo el trabajo de investigación a partir de la digestión de excretas del guano de cuy. El objetivo general del trabajo de investigación era determinar la eficiencia de la pre - fermentación en el proceso de obtención del Biol, Biosol y Biogás en un biodigestor de manga en Acopampa – Carhuaz – Ancash. Se logró homogenizar la granulometría de las excretas por trituración mecánica con los pies, de tal manera que la granulometría tuviera un tamaño mayor a 2 mm para una mejor pre fermentación (para iniciar la descomposición de las excretas). Se logró incrementar las horas de cocción de 3.5 a 5 horas, lo cual significa un incremento de 42.8% de gas metano en comparación al sistema inicial. Además la producción de biogás se incrementó de 525 a 750 litros, lo cual representa un incremento de 46.2%, respecto al valor inicial.

## 1.2 Justificación e importancia

De llevarse a cabo la investigación y lograr alcanzar los objetivos

Propuestos:

- Lograr optimizar las performance de un prototipo de biodigestor semicontinuo.
- Se estará contribuyendo a la implementación evaluada y comprobada de este sistema de biodigestor, de tecnología automática para la producción de gas combustible y a resolver la demanda de energía para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi.
- La ejecución del proyecto servirá para analizar los parámetros de obtención de biogás.
- Además proporcionará información necesaria, teórico – práctica, a cualquier lector, instalador y/o poblador, para que él mismo y/o junto a otros pobladores tengan las condiciones para poder construir su propio biodigestor para su vivienda.
- Promoviendo la difusión del beneficio ecológico, económico y como una fuente alternativa y limpia aprovechable en nuestro país, disminuyendo el consumo de Gas Licuado de Petróleo (GLP).

### 1.3 Lugar e Institución Donde se realiza el Proyecto

Lugar: Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi,

Localidad: Parcela 7, Tres Cabezas, Sector La Perla, Chimbote-Ancash

Institución: Universidad Nacional del Santa

### 1.4 Formulación del Problema

Se consideró el criterio para la determinación de la dirección de la investigación, para el cumplimiento de los objetivos, se planteó la siguiente interrogante:

¿Qué mejoras se obtiene en el biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo regulando la composición de la biomasa en un biodigestor semicontinuo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi?

### 1.5 Formulación de la Hipótesis

La hipótesis que se planteó al problema formulado es la siguiente:

“Si controlamos rigurosamente la relación C/N, la Temperatura de fermentación y el PH del sustrato, obtendríamos una mezcla gaseosa de gas metano de 50% -70%, mejorando así la calidad del biogás”

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo General

- Obtener biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy en un biodigestor semicontinuo.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- Construir un prototipo de biodigestor semicontinuo.
- Instalar un sistema de aislamiento del biodigestor.
- Evaluar los parámetros para la producción del biogás.
- Determinar los parámetros adecuados para la producción del biogás.

## II.- MARCO TEORICO

### 2.1.- Biodigestor

Es un recipiente cerrado o tanque, el cual puede ser construido con diversos materiales (ladrillo y cemento, metal o plástico), posee un ducto de entrada por el que se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua (afluente), y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por la acción bacteriana abandona el biodigestor (efluente). Es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante (Martí, 2008).

Un biodigestor es un sistema en el cual se genera un ambiente adecuado para que la materia orgánica se descomponga en ausencia de oxígeno, a este fenómeno se le llama digestión anaeróbica. Esta descomposición se produce por bacterias que habitan en el interior del biodigestor y proceden principalmente del estiércol fresco, las cuales se alimentan de la materia orgánica produciendo como subproductos biogás, y fertilizantes llamados biol y biosol. Su funcionamiento es muy parecido al del estómago de una persona o un animal. (Ministerio de agricultura del Perú, 2011)

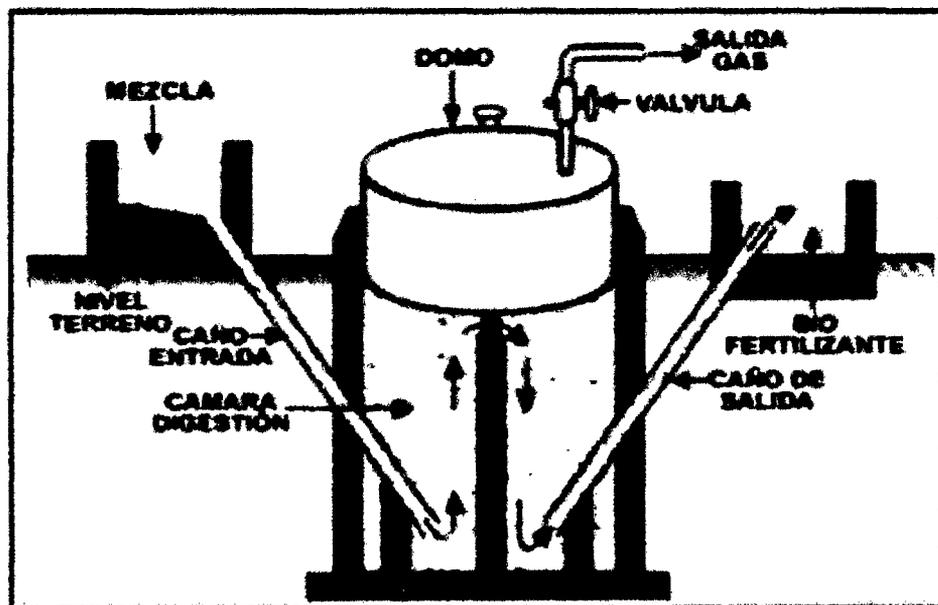
#### 2.1.1.- Tipos de Biodigestores.

##### 2.1.1.1.- Según su Construcción:

###### A.- Biodigestor de Domo Flotante (Hindú)

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

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo de hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. Recibe carga orgánica mezclada con agua en una proporción de 1:1 y máximo de 1:5, por un tubo que conecta con la parte inferior del tanque. Esta carga fresca desplaza por simple rebose de la parte superior a la que allí se encuentra y que se recolecta en un tanque externo para tal fin. El efluente hidrolizado se utilizara posteriormente como abono orgánico digerido o como suplemente alimenticio, rico en proteínas, para la cría de peces o de animales domésticos en general (Lugonés, 2000)



**Figura N°01: Sistema de biodigestión Hindú**

Fuente: Fundación Argentina para el Desarrollo Humano Ambiental

## B.- Biodigestor de Domo Fijo (Chino)

Este modelo es muy difundido en China, es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana movable y totalmente enterrado. Igual que el modelo Hindú, recibe la carga fresca por un conducto que lo lleva hacia la parte baja y entrega el efluente, por rebose a un depósito externo en la parte exterior (Guardado, 2008).

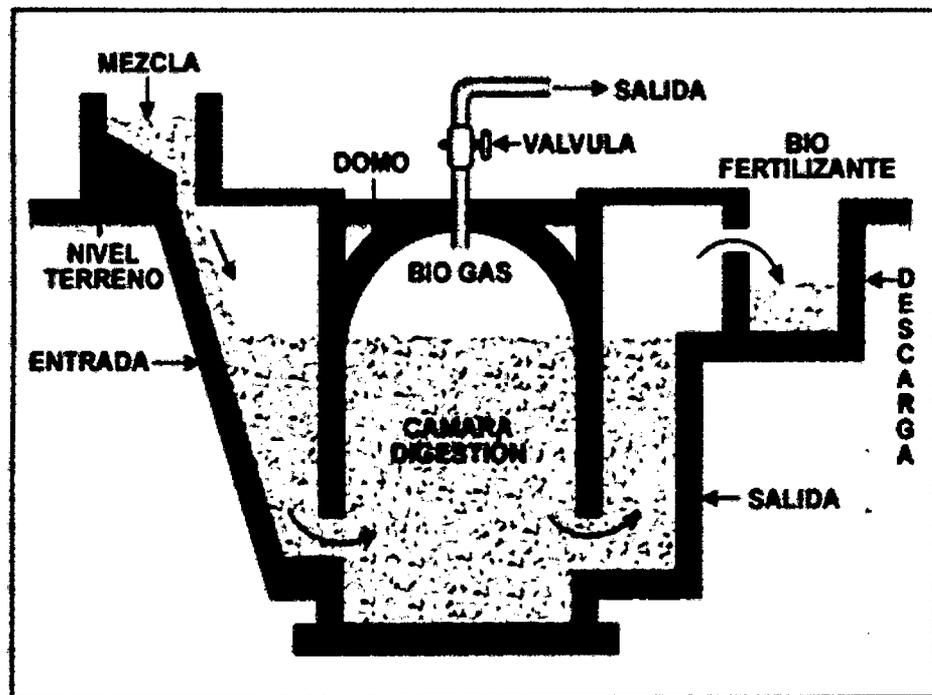


Figura N°02: Sistema de biodigestión Chino

Fuente: Fundación Argentina para el Desarrollo Humano Ambiental

## C.- Biodigestor Tipo Bolsa (Tubular).

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



### 2.1.1.2.- Según su manera de operación:

#### A.- Biodigestores Continuos.

Cuando la fermentación en el biodigestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al material que entra, la producción de gas es uniforme en el tiempo; este proceso se aplica en zonas con ricas materias residuales y biodigestores de tamaño grande (mayor de  $15\text{m}^3$ ) y mediano (entre  $6.3$  y  $15\text{m}^3$ ).

La característica mas importante es la alta dilución de la carga de 3 a 5 veces de agua / excreta y además su manejo es relativamente fácil, pues lo que se hace es un manejo hidráulico del sistema, que puede llegar a no requerir mano de obra en la operación si las condiciones topográficas son favorables.

El biodigestor se carga diaria o interdiariamente nuevas cantidades de lodos frescos. (Ruiz, 2010).

#### B.- Biodigestores Semicontinuos.

La primera carga que se introduce, consta de gran cantidad de materiales; cuando va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad.

El sustrato a degradar ocupa un volumen en digestor (80%), mientras que el resto del volumen (20%) es reservado para realizar cargas continuas o intermedias, a medida que va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas.

Esta operación reúne las ventajas y desventajas del Batch, pero en el caso del bioabono, por la adición continua de materia rica en nutrientes incrementa aun más su calidad.

Una forma de operación podría ser: se incorpora al digestor una carga Batch de pasto o restos de cosecha y la carga continua es con excretas de porcinos o humanos. Debido a que el suministro de lodos frescos no es constante el proceso se hace bastante largo, por esta razón en la práctica se acelera mediante la utilización y el control de factores favorables. (Ruiz, 2010).

#### C.- Biodigestores por lotes.

Los biodigestores se cargan con material en un solo lote, cuando el rendimiento de gas decae a un bajo nivel, después de un periodo de fermentación, se vacían los biodigestores por completo y se alimenta de nuevo.

También se conoce como operación "Batch", todo adentro todo afuera.

El material de carga se caracteriza, por una alta concentración de sólidos, el cual debes ser adecuadamente inoculado, sobretodo cuando se fermentan materiales vegetales. Las ventajas operativas es que el proceso una vez iniciado llega al final sin contratiempos, necesitando mano de obra solo al momento de la carga y la descarga. La ventaja es que al tratarse de manejo de sólidos sobre todo cuando son grandes volúmenes requiere mecanizarlo, no obstante hay gran producción de gas por unidad de volumen y un bioabono de buena calidad (Ruiz, 2010).

## 2.2.- Biodigestores Tipo Chino:

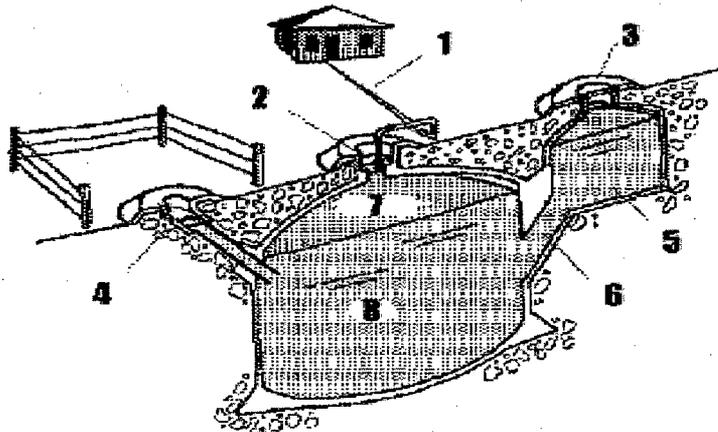
### 2.2.1.- Características.

- Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón.
- La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos.
- La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme.
- La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado.
- Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo.
- Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor.
- Esta instalación tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

### 2.2.2.- Componentes.

Los componentes principales con las que cuenta el biodigestor tipo Chino, son las siguientes:

- Tubería de salida de gas: Es aquel conducto por el cual se transporta el biogás, producido por el biodigestor. Este conducto esta conectado a los servicios al cual será requerido (cocina, calefacción, iluminación, etc.)
- Sello removible: Es la tapa que se encuentra ubicada en la parte superior de la cúpula del biodigestor, la cual permanece hermética.
- Tapa móvil: Es la tapa que cubre el tanque donde se acumula el biol.
- Entrada: Es en donde se introduce la mezcla de estiércol y agua, para ser utilizados en el biodigestor.
- Tanque de desplazamiento: Es el recipiente en donde se va a almacenar el biol, después del proceso de descomposición.
- Tubería de salida: Es la que conecta la cámara donde se produce el proceso de descomposición con el tanque de desplazamiento.
- Almacenamiento: También denominado cúpula, donde se almacenara el biogás producido por el proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Materia orgánica: Es el componente principal para llevar a cabo el proceso de descomposición, dentro del biodigestor.



**Figura N°04: Componentes de un Biodigestor tipo Chino**

Componentes del digestor chino: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

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

### 2.3.- Biomasa.

El termino Biomasa, puede definirse como " toda la materia orgánica en la superficie externa delgada de tierra llamada Biosfera, producida por Plantas, Animales, Hongos o Bacterias. Es una Fuente Potencial de Alimento, Energía y Productos Químicos; que debe desarrollarse en relación con la preservación del medio ambiente"

La Biomasa se refiere a aquel producto de grupos energéticos, materia orgánica, residuos agrícolas y estiércol, todos ellos de carácter renovable, que han tenido su origen como consecuencia de un proceso biológico o de fotosíntesis y que son susceptibles de ser transformados por medios biológicos o térmicos para generar energía.

En general cualquier sustrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales (Sánchez P., 2006).

Para seleccionar la biomasa se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo mas alto posible.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del substrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante.

### 2.3.1.- Clasificación de la Biomasa.

La Biomasa puede clasificarse de muy diversas formas, sin embargo, la más sencilla y clara es la que considera sus características de obtención y humedad, de tal forma que se puede establecer que los tipos de biomasa pueden ser:

**A. Biomasa natural.-** Se produce de forma espontanea en la naturaleza, sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.

**B. Biomasa residual seca.-** Procede de recursos generados en las actividades agrícolas, forestales. También se produce este tipo de Biomasa por Residuos Urbanos, en procesos de la industria agroalimentaria y de la industria de transformación de la madera.

Dentro de este tipo de biomasa, se puede diferenciar la de origen forestal y la de origen agrícola.

**C. Biomasa residual húmeda.-** Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos.

### 2.3.2.- Potencial de la Biomasa.

Aunque la energía de la Biomasa ha sido aprovechada desde que el hombre descubrió el fuego, la consideración actual de la biomasa como fuente de energía limpia se hace bajo nuevos criterios y enfoques:

El balance de CO<sub>2</sub> emitido es neutro. La combustión de Biomasa, si se realiza en condiciones adecuadas, produce agua y CO<sub>2</sub>, pero la cantidad emitida de este último gas, principal responsable del efecto invernadero, es captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, el CO<sub>2</sub> de la biomasa viva forma parte de un flujo de circulación continuo entre atmósfera y la vegetación, sin que suponga incremento de ese gas en la atmósfera de tal forma que la vegetación, sin que suponga incremento de ese gas en la atmósfera de tal forma que la vegetación va a la misma velocidad que se degrada.

La producción de Biomasa es totalmente descentralizada, basada en un recurso disperso, que puede tener gran incidencia social y económica en el mundo rural.

Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles. La tecnología para su aprovechamiento cuenta con un buen grado de desarrollo tecnológico para muchas aplicaciones.

Es un importante campo de innovación tecnológica. Las respuestas tecnológicas en curso están dirigidas a optimizar el rendimiento energético del recurso, minimizar los efectos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones, incrementar la competitividad comercial de los productos y posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles, entre otros.

En conclusión gracias a la Biomasa se puede obtener de manera prácticamente gratuita energía térmica, refrigeración, energía eléctrica, biocombustibles, gases combustibles y con tratamiento adecuado residuales que sirven de nutrimento al suelo (Sánchez P., 2006).

### 2.3.3.- Fuentes de la Biomasa.

Las fuentes de la Biomasa son muy diversas, de tal forma que se puede decir que la naturaleza y las actividades de los seres vivos son una fuente inagotable, sin embargo, para efectos de clasificar la Biomasa producida como residual, se puede decir que sus principales fuentes son:

#### A. Granjas o Fincas:

##### Residuos de animales

- Estiércol de orín de ganado (Vacuno, porcino, equino, aves, etc.)
- Purines.

##### Residuos vegetales

- Cascara de diversos vegetales, etc.
- Residuos de algodón.
- Fibras de coco.
- Hojas de árboles.

## B. Ciudades y poblados

- Excremento y orín humano.
- Residuos Sólidos Municipales Orgánicos.

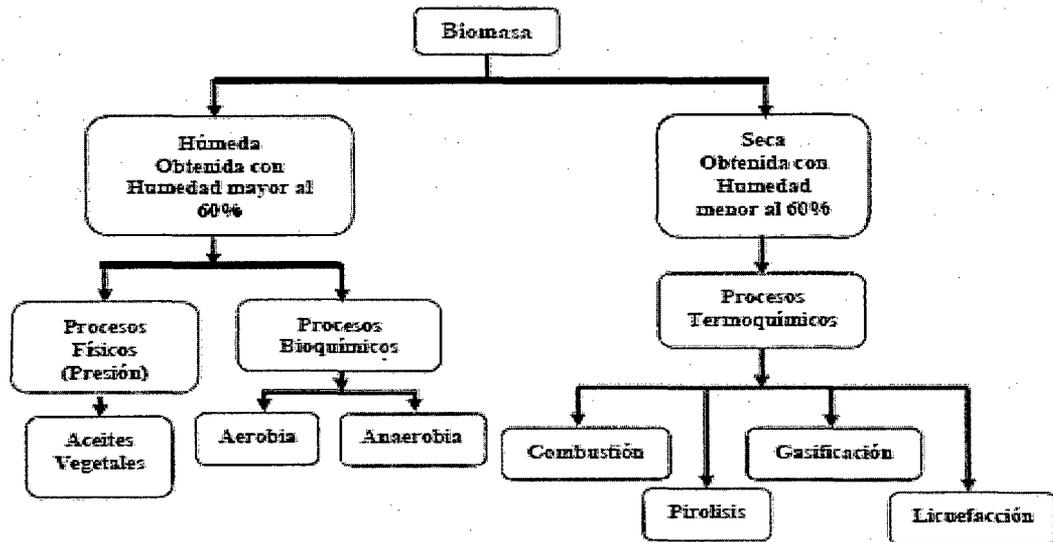
## C. Industriales

Residuos orgánicos de:

- Industria de bebidas.
- Piscicultura.
- Industria del papel.
- Industria alimenticia.

### 2.3.4.- Procesos de la Biomasa.

Así, la Biomasa que procede de residuos o cultivos energéticos, generalmente se transforma en calor, combustibles o electricidad, que conducen a la forma de energía útil requerida en cada caso. Para ello, se hace necesario tratarla de manera adecuada considerando las características que tengan al momento de obtenerla, de tal forma que los procesos a que puede ser sometida pueden de manera general estructurarse como se muestra en la Figura N°05. (Sánchez P., 2006).

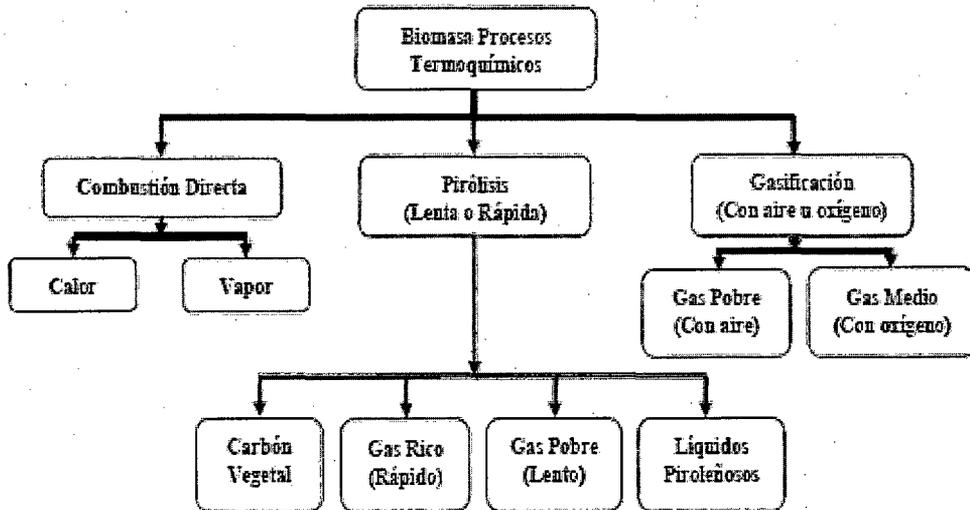


**Figura N°05: Procesos de la Biomasa**

Fuente: Sánchez P. La biomasa y la energía, México 2006.

#### 2.3.4.1- Biomasa Seca.

Los procesos termoquímicos a que puede someterse la Biomasa seca se muestra en la Figura.



**Figura N°06: Procesos Termoquímicos de la Biomasa**

Fuente: Sánchez P. La biomasa y la energía, México 2006.

Estos procesos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la Biomasa, tienen el inconveniente de que producen residuales finos que requieren para su disposición de un área determinada.

La elección del tipo de proceso depende de los productos que se deseen obtener y la cantidad de oxígeno presente en la transformación, las características de cada proceso se define en los siguientes apartados.

#### A. Combustión

En la combustión se “somete a la biomasa a altas temperaturas con exceso de oxígeno. Es el método tradicional para la obtención de calor en entornos domésticos, industrial o para la generación de energía eléctrica”

La combustión directa u oxidación completa transforma la Biomasa en dióxido de carbono, agua, cenizas y calor (único componente energético útil del proceso), es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa. Los factores más importantes a considerar en este proceso son:

- Exceso de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico.
- Temperatura de combustión: 600 – 1300 °C.

Características del combustible:

- Físicas: densidad, tamaño y humedad (la menor posible)
- Químicas: bajo contenido de azufre.
- Térmicas: dependen de las físicas y las químicas.

Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la Biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a fuego abierto (aun utilizado en vastas zonas rurales para la cocción de alimentos) hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria.

La energía obtenida puede destinarse a la producción de calor (en forma de agua o aire caliente) para el uso doméstico o industrial y a la producción de electricidad. La eficacia térmica de la combustión es elevada, siendo el rendimiento global del proceso del 30%. Este método se utiliza en la actualidad en las industrias azucareras, papeleras y de derivados de la madera. Este proceso ha sido utilizado para el tratamiento de Residuos Sólidos Municipales (Sánchez P., 2006).

La combustión industrial de la biomasa requiere de instalaciones que permitan la operación de los sistemas siguientes:

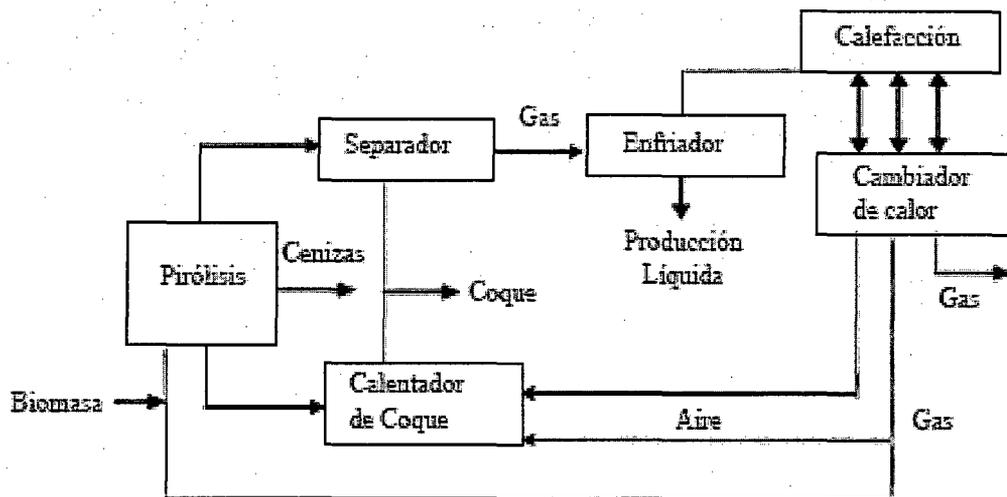
- Almacenamiento de combustible (Biomasa).
- Transporte y dosificación del combustible al equipo de combustión.
- Equipos y cámara de combustión.
- Caldera (vapor, agua caliente, aceite térmico).
- Recuperación auxiliar de calor.
- Depuración de gases.
- Extracción de cenizas.

#### B. Pirolisis.

La Pirolisis consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes, generándose cantidades variables de gases (gas de síntesis), líquidos (alquitranes y aceites) y residuos carbonosos. El rango de temperatura empleados oscila entre 15 y 900°C.

Las materias primas de este proceso generalmente son los subproductos agrícolas y forestales.

Para obtener combustibles líquidos y carbón se requiere una alimentación seca que se somete a un tratamiento como el indicado en la siguiente figura. (Sánchez P., 2006).



**Figura N°07: Esquema de proceso pirolisis**

Fuente: Sánchez P. La biomasa y la energía, México 2006.

### C. Gasificación

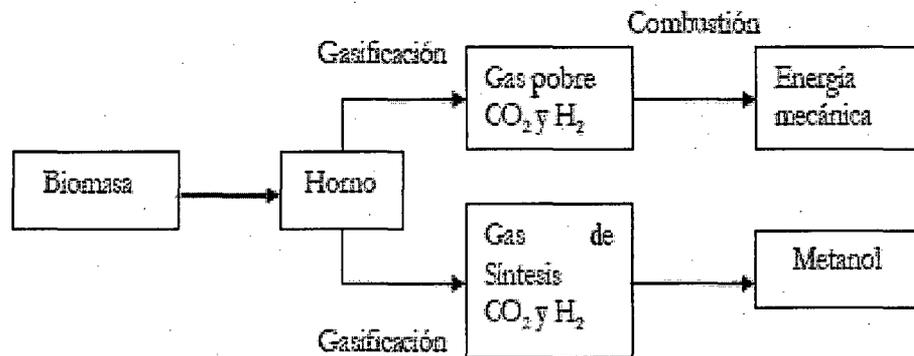
La gasificación se puede definir como la descomposición térmica de la biomasa en una atmósfera pobre en oxígeno.

En este proceso se somete a la Biomasa a muy alta temperatura en presencia de cantidades limitadas de oxígeno, las necesarias para conseguir así una combustión completa. Según se utilice aire u oxígeno puro, se obtienen dos productos distintos, en el primer caso se obtiene gasógeno o gas pobre y en segundo un gas de síntesis.

El gas combustible producido en un proceso de gasificación de Biomasa posee un poder calorífico que fluctúa entre 2.7 y 5.1 MJ/m<sup>3</sup>. Esto hace que dicho combustible entre en la clasificación de combustibles de bajo poder calorífico y por tanto se requiere de la adaptación de los sistemas de combustión para albergar mayores flujos de masa.

El gas combustible de bajo poder calorífico producto de la gasificación de Biomasa tiene como ventajas la disponibilidad de la materia prima en casi todos los rincones de la tierra; producción neutra de CO<sub>2</sub> y es versátil pues es posible utilizarlo en calderas, quemadores, motores de combustión interna y turbinas de gas. Sin embargo su consumo energético es alto.

La temperatura de operación para este proceso, oscila entre 700 y 1500°C y el oxígeno suministrado se limita entre un 10 y un 50% del teóricamente necesario para una combustión completa. Según se utilice aire u oxígeno puro, se desarrollan dos procesos de gasificación sustancialmente distintos, en cuanto a la posible utilización de los productos obtenidos. (Sánchez P., 2006).



**Figura N°08: Procesos de gasificación.**

Fuente: Sánchez P. La biomasa y la energía, México 2006.

#### 2.3.4.2- Biomasa húmeda.

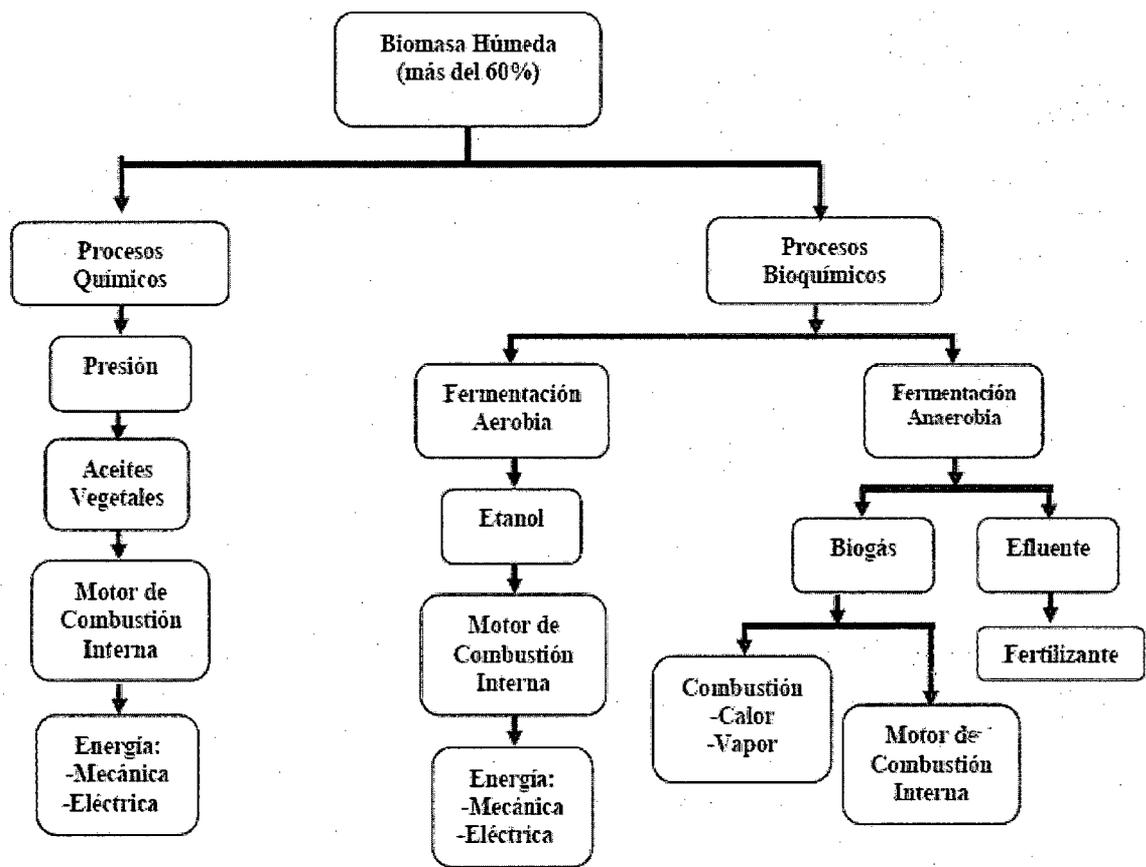
La Biomasa húmeda procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos.

Biomasa húmeda se denomina así cuando el porcentaje de humedad supera el 60% como por ejemplo en los desechos vegetales, residuos animales, vegetación acuática, etc. Resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante procesos Bioquímicos, o en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos.

Los procesos bioquímicos a que puede someterse la Biomasa húmeda, se basan en la utilización de diversos tipos de microorganismos que degradan las moléculas a compuestos más simples de alta densidad energética.

Estos procesos aumentan el valor energético de la biomasa de 16KJ/g a 30 KJ/g en el caso de la obtención de metanol y a 56 KJ/g al obtener metano.

Los procesos a que pueden someterse la biomasa húmeda y los productos que se obtienen se muestran en la Figura N°09. (Sánchez P., 2006).



**Figura N°09: Procesos y Productos con Biomasa húmeda**

Fuente: Sánchez P. La biomasa y la energía, México 2006.

#### A. Procesos Bioquímicos

Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos) (Sánchez P., 2006).

## B. Procesos Anaeróbicos

La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales cuidando la relación carbono/nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado “Digestor” y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás. Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas.

Las tecnologías disponibles para la producción son muy variadas pero todas ellas tienen como común denominador la simplicidad del diseño y el bajo costo de los materiales necesarios para su construcción (Sánchez P., 2006).

## C. Procesos Aeróbicos

El proceso aerobio es llevado a cabo por microorganismos que precisan de oxígeno atmosférico o disuelto en el agua. La materia orgánica es fermentada a partir de un aporte energético, dando lugar a una reacción exotérmica. Se obtiene como productos finales  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Sánchez P., 2006).

## D. Procesos Químicos

Algunos combustibles pueden obtenerse de la biomasa por extracción directa. Aunque los productos obtenidos pueden ser utilizados directamente como combustibles, generalmente se modifican los aceites extraídos mediante procesos químicos, también aplicables a aceites residuales, siempre que su origen sea la biomasa. (Sánchez P., 2006).

### 2.3.5.- Conveniencia de procesar la Biomasa.

La Biomasa es un desecho que puede llegar a ser un problema grave para el equilibrio ecológico si no toman las medidas pertinentes, debido al crecimiento poblacional y a la producción industrial, la velocidad de generación de la Biomasa es mayor que su degradación. No obstante, esa posibilidad de problema se puede convertir es una oportunidad, por lo que se de hacer las consideraciones siguientes:

Si no se trata la Biomasa se producen:

- Vectores.
- Malos olores.
- Enfermedades.
- Daños Ambientales.

Si se trata la Biomasa se pueden obtener efectos económicos positivos y otros como:

- Protección de la salud.
- Preservación del medio ambiente.
- Recuperación de materia prima.
- Obtención de energéticos.
- Obtención de abono orgánico natural.
- Obtención de CO<sub>2</sub> para la industria alimenticia.

### 2.3.6.- Riesgos por mal manejo de la Biomasa.

La Biomasa cuando no se les da un proceso adecuado representan los riesgos siguientes:

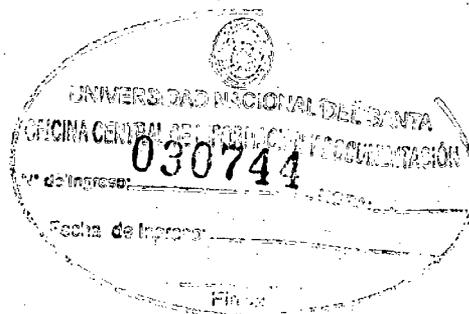
- Deterioro estético de las ciudades y del paisaje natural.
- Contaminación de suelo, cuerpos de agua y aire.
- Proliferación de vectores.
- Afectaciones a la salud.
- Cambio climático por gases de efecto invernadero.

## 2.4.- Productos obtenidos en los biodigestores.

### 2.4.1.- Biogás.

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 800 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano alrededor de los 500 ° C), la temperatura de la llama alcanza 870 ° C. Entre más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%. Con un contenido de metano mucho menor del 50%, el biogás deja de ser inflamable.

Es un gas combustible, producido durante la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos de origen animal o vegetal, dentro de determinados límites de temperatura, humedad, y acidez. El biogás es un combustible que tiene un poder calorífico de 4 700 a 5 500 kcal/m<sup>3</sup>, es decir, 1 m<sup>3</sup> de biogás puede reemplazar 0.46 kg de gas propano, 0.71kg de gasolina, ó 3 kg de leña como se puede observar en la Tabla N°01. Además 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 3 kw- h/m<sup>3</sup>, todo esto dependiendo del porcentaje de metano existente en el gas. El biogás es una mezcla de gases, principalmente metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se forma cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, es decir en condiciones anaeróbicas (Guardado, 2008).



**Tabla N° 01: Combustibles típicos y su poder calorífico**

Combustible	Poder Calorífico inferior	Poder Calorífico Superior
Petróleo	10000 kcal/kg	10500 kcal/kg
	8850 kcal/lts	9293 kcal/lts
Gas Natural	8300 kcal/ m <sup>3</sup>	9300kcal/m <sup>3</sup>
Gas Licuado	10950 kcal/kg	11951 kcal/kg
Leña Seca	4600 kcal/kg	5200kcal /kg
Biogás	5500 kcal/m <sup>3</sup>	6000 kcal/m <sup>3</sup>

Fuente: Superintendencia de Energía y Combustible del Gobierno De Chile, 2003

La conducción de biogás hasta la cocina se hace directa, manteniendo todo el sistema a la misma presión: entre 8 y 13 cm de columna de agua dependiendo la altura y el tipo de fogón (Martí, 2008).

#### 2.4.1.1.- Componentes presentes en el biogás

El biogás contiene en su mayoría aproximadamente metano (55-70%) y de (35-40%) de dióxido de carbono. El H<sub>2</sub>S (Acido Sulfhídrico) es nocivo en motores pues forma acido Sulfúrico y provoca corrosión; se separa por medio de una trampa, la pequeña cantidad de acido sulfuro de hidrogeno da al gas un olor de huevos podridos. En la Tabla N°02 resume la composición química del biogás.

Cuando el biogás esta formado por un 60% de metano (CH<sub>4</sub>) y 40% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tiene una densidad de 1.22 gr/lit, siendo mas ligero que el aire. El biogás es un gas combustible que arde gracias al metano, produciendo una llama azul, sin formar hollín; tiene un poder calorífico de 5500 a 6000 Kcal/m<sup>3</sup>. El metano también es conocido con el nombre de “gas de los pantanos”. 1m<sup>3</sup> de metano desprende alrededor de 8,900 - 9,500 Kcal y debido a la concentración de CO<sub>2</sub> en el biogás (40%), baja su poder energético a un promedio de 5750 Kcal.

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en combustión directa en estufas simples (en la cocción de alimentos), en la iluminación (Lámparas de gas o a gasolina), para calefacción y refrigeradoras. También el biogás puede ser utilizado como combustible para motores diesel y a gasolina, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del acpm (Aceite Combustible Para Motor) o diesel (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad del acpm en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión).

Aunque en los motores a gasolina el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma, en general en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural. (Martí, 2008).

Un metro cubico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 Minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

**Tabla N° 02: Composición aproximada del biogás**

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Metano ( CH <sub>4</sub> )	55 a 70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	35 a 40
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.5 a 5
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.1 a 1
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1 a 3
Vapor de agua, trazas	-----

Fuente: CETA, Centro de Estudios de Termo energética, 2008.

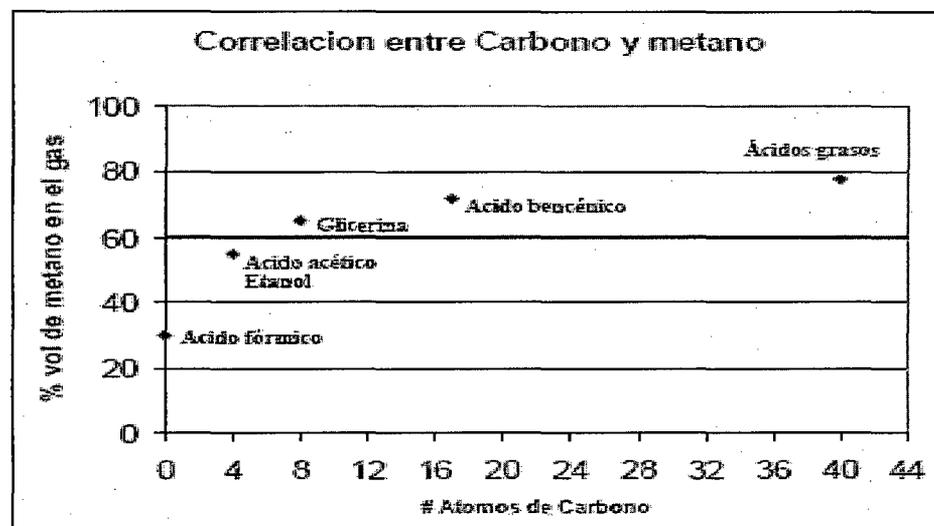
#### 2.4.1.2.- Efectos del CO<sub>2</sub> en el biogás

La presencia de CO<sub>2</sub> en el gas se mide en la razón de CO<sub>2</sub>/metano (%Vol) y puede ser controlada parcialmente debido a que es esencial en la formación de metano en el gas por lo que no se busca hacerlo desaparecer. (CETA, 2008)

Los factores que afectan la composición de CO<sub>2</sub> son:

- A. La presencia de compuestos con largas cadenas de hidrocarburos por ejemplo compuestos con alto contenido de grasas ayudan a mejorar la calidad del gas cuidando de no afectar la acidez, la cantidad de átomos de Carbono presentes en substrato se relaciona directamente con el porcentaje en volumen de metano presente en el biogás, ver Figura N°05.
- B. Generalmente la descomposición anaeróbica de la biomasa mejora con el tiempo de exposición, cercano el final del tiempo de residencia (periodo en el cual se aprovecha la biomasa para extraer biogás, este varia, según el control de los parámetros y el substrato o biomasa utilizada).

- C. El proceso de fermentación toma lugar de manera más rápida si el material en el reactor (lugar del biodigestor donde toma lugar la biodigestión) está distribuido homogéneamente.
- D. Un alto contenido de líquido en el reactor influye en una alta concentración de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua, lo que disminuye el nivel de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua.
- E. A mayor temperatura de fermentación, disminuye la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua.
- F. Una alta presión durante el proceso lleva a una mayor concentración de CO<sub>2</sub> presente en el agua, esto se puede aprovechar si se purga material alto contenido en CO<sub>2</sub> disuelto en el agua (especialmente una vez iniciado el proceso de proliferación bacteriana).



**Figura N°10: Correlación entre Átomos de carbono de la cadena y %Vol. De metano en el gas**

Fuente: CETA, Centro de Estudios de Termo energética, 2008.

#### 2.4.1.3.- N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> presentes en el biogás.

El nitrógeno y oxígeno presente en el biogás se encuentra normalmente en proporción 4:1 y usualmente se incorporan en las etapas de ventilación que tienen como objetivo eliminar el ácido sulfhídrico presente en el reactor, estos gases pueden entrar también normalmente en pequeñas cantidades si el sistema de tuberías no está perfectamente hermético (CETA, 2008).

#### 2.4.1.4.- Amoníaco presente en el biogás.

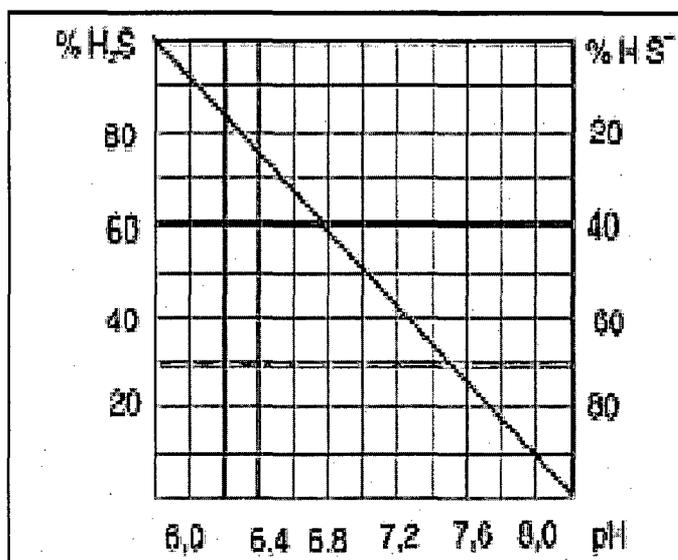
Normalmente la concentración de amoníaco es baja (<0.1 mg/m<sup>3</sup>), cuando los substratos usados provienen de excremento de aves o algunos casos particulares de basura la presencia de amoníaco se puede incrementar hasta no superar los 1.5 mg/m<sup>3</sup>, por sobre este límite existe riesgo para los quemadores inclusive para la vida de los motores utilizados (CETA, 2008).

#### 2.4.1.5.- Ácido sulfhídrico presente en el biogás.

La cantidad de H<sub>2</sub>S presentes en los gases de escape depende principalmente del proceso utilizado para la obtención del biogás y del tipo de substrato involucrado, sino existe un paso de desulfurización, la concentración de H<sub>2</sub>S puede exceder el 0.2% vol. Cuando el substrato fermentado viscoso el contenido H<sub>2</sub>S, usualmente el biogás es desulfurizado aun mientras permanece al reactor (CETA, 2008).

A través de un proceso de pre- desulfurización se puede ayudar a mantener el nivel inferior a 70mg/m<sup>3</sup> cuando se utilizan co- substratos o por debajo de 310 mg/m<sup>3</sup> en planta que utilizan excretas líquidas para la fermentación. A pesar de los esfuerzos, el H<sub>2</sub>S siempre está presente en niveles altos.

El sulfuro de hidrogeno contenido en el biogás, junto a la humedad de este, se convierte en acido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), el cual es nocivo para ciertos equipos como calentadores de agua, motores o refrigeradores. Por lo tanto, la reducción del sulfuro de hidrogeno se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre 2% en volumen de este compuesto, sin embargo, la desulfuración no es necesaria si el biogás contiene menos de 1% de este compuesto (CETA, 2008).



**Figura N°11: Disociación de H<sub>2</sub>S en función del pH**

Fuente: CETA, Centro de Estudios de Termo energética, 2008.

Con el fin de eliminar o disminuir el proceso de H<sub>2</sub>S en el biogás se emplean sistemas de filtro con sustancias como cal viva o apagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parda o limonita, las cuales son ricas en sustancias ferrosas. Estas masas se regeneran al entrar en contacto con aire por lo que podrán ser usados nuevamente. La capacidad absorbente de esta masa depende de la cantidad de hierro que contengan. Una masa que contiene entre 5 a 10% de hidróxido de hierro puede absorber 15 (g) de sulfuro por kilo sin ser regenerada, pudiendo remover hasta 150(g) de sulfuro al ser regenerada.

Otra alternativa para la remoción de  $H_2S$  consiste en Biofiltros de lecho fijo, donde la fase móvil corresponde al gas, con soporte orgánico/sintético para la biomasa que se encuentra fija. Corresponde a uno de los sistemas de tratamiento más utilizados debido a sus bajos costos de operación, al bajo costo del material del medio filtrante y a los bajos consumos de agua, además de poseer una alta eficacia en la eliminación de distintos contaminantes, en particular el  $H_2S$ . No generan desechos como lodo y agua contaminada. Dentro de sus desventajas se encuentra el poco control frente a los fenómenos de reacción, la dificultad de control de Ph ya que se trata de contaminantes que generan productos ácidos, el taponamiento generado por el exceso de biomasa y los grandes requisitos de espacio (CETA, 2008).

Los biofiltros consisten en una columna que contiene un material de empaque de elevada porosidad cuya función es dar soporte y en algunos casos servir como fuente de nutrientes a los microorganismos. Los microorganismos se encuentran formando parte de una capa que rodea al material filtrante denominada biopelícula.

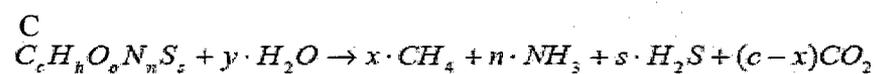
A medida que el gas atraviesa el poroso, los contaminantes solubles, son transferidos a los microorganismos debido a la existencia de un gradiente de concentración generado entre la fase gas y la biopelícula. Una vez en la biopelícula, los contaminantes son degradados por la biomasa activa, que los utiliza para su metabolismo como fuente de nutrientes y/o energía. Los ácidos que son generados se degradarán rápidamente al medio orgánico, por lo que este debe ser reemplazado al poco tiempo de operación. Debido a lo anterior, el medio filtrante debe tener una buena capacidad buffer con la finalidad que pueda consumir el ácido generado y no inhibir a la actividad bacteriana. Es usual el uso de carbonato de calcio en forma de conchas marinas molidas se disolverán debiendo ser reemplazadas. Una relación típica de mezcla es de 25 (kg) de conchas marinas por cada metro cúbico de material filtrante (CETA, 2008).

Las bacterias incoloras del azufre son las más ampliamente usadas para la oxidación del H<sub>2</sub>S y azufre elemental a sulfatos usando oxígeno como aceptor de electrones. Son bacterias aeróbicas quimio autótrofas, cuyo proceso de oxidación da lugar a la formulación de iones hidrógeno, produciendo una acidificación del medio. Algunos de los microorganismos identificados como bacterias incoloras del azufre corresponden a una serie de especies del género Thiobacillus, que son capaces de oxidar sulfuro de hidrógeno utilizando oxígeno como aceptor de electrones. Son bacterias autotróficas, por lo que usan el dióxido de carbono del biogás para cubrir sus necesidades de carbono bajo pH=3 los sistemas estarán dominados por Thiobacillus thiooxidans que oxida el sulfuro rápidamente.

Esta especie no se inhibe incluso a pH=1, pero tiene la desventaja de formar ácido sulfúrico en mayor cantidad a menor pH, por lo cual ocasiona problemas de corrosión dentro del biofiltro (CETA, 2008).

#### 2.4.1.6. - Reacciones bioquímicas en la generación de biogás.

La producción de metano responde a la siguiente ecuación:



Con:

$$x = \frac{1}{8} \cdot (4c + h - 20 - 3n - 2s)$$

$$y = \frac{1}{4} \cdot (4c - h - 20 + 3n + 3s)$$

Los productos generalmente obtenidos se observan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 03: Productos de la generación de biogás**

Carbohidratos:	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 \cdot CO_2 + 3 \cdot CH_4$
Grasas:	$C_{12}H_{24}O_6 + 3 \cdot H_2O \rightarrow 4.5 \cdot CO_2 + 7.5 \cdot CH_4$
Proteínas:	$C_{13}H_{25}O_7N_3S + 6 \cdot H_2O \rightarrow 6.5 \cdot CO_2 + 6.5 \cdot CH_4 + 3 \cdot NH_3 + H_2S$

Fuente: CETA, 2008.

En términos generales los sulfuros, permanecen en los residuos, el CO<sub>2</sub> se une con el NH<sub>3</sub>, por lo tanto el gas resultante es principalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en proporción:

$$\text{CH}_4: \text{CO}_2 = 71\%: 29\%$$

#### 2.4.1.7.- Ventajas y desventajas del uso de biogás.

##### A. –Ventajas.

- Disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmosfera.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.
- Si se utiliza residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos.
- los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el mercado de alimentos. Eso puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola.
- Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas.
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

B. –Desventajas.

- Tiene un mayor costo de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- Producción estacional.
- La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para la utilización.

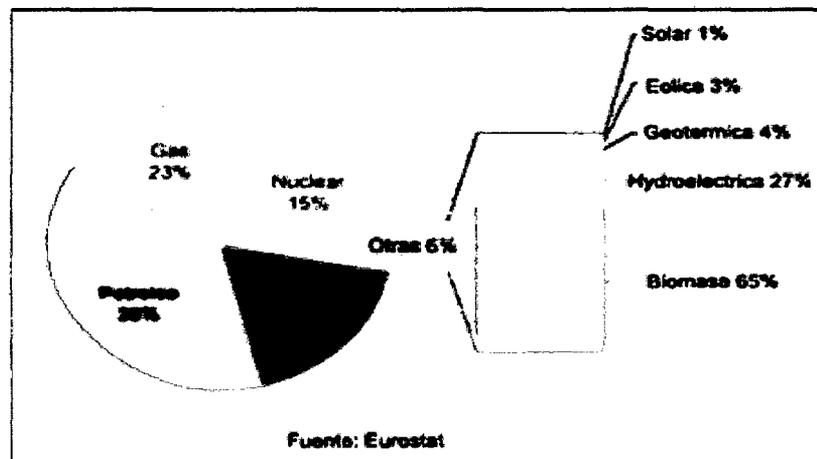


Figura N°12: Proporcionalidad de los tipos de energías utilizadas  
Fuente: Eurostat

#### 2.4.2.- Biol

Es la fracción líquida resultante del “fango” proveniente del fermentador o biodigestor. Este fango es decantado o sedimentado obteniéndose una parte líquida a la cual se le llama Biol. En el proceso de fermentación se remueven solo los gases generados ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) que representan del 5% al 10% del volumen total del material de carga. Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma a Biol. El uso del Biol es principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces y frutos, gracias a la producción de hormonas vegetales, las cuales son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de este tipo de fermentación anaeróbica (Aparcana, 2005).

En el efluente se conservan todos los nutrientes originales (N, P, K) contenidos en la materia prima, los cuáles no se conservan en un proceso aeróbico porque son volátiles, éstos son esenciales para las plantas. El efluente es un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores patógenos, y de fácil aplicación.

La ventaja del Biol o Bioabono sobre los agroquímicos es la siguiente:

- Constituye un excelente mejorador de la estructura y estabilidad de los suelos.
- Es una fuente muy económica de fitohormonas y biofactores que estimulan el crecimiento de las plantas.
- Debido al elevado contenido de materia orgánica, aumenta la capacidad del contenido de agua en el suelo, funciona igual que una esponja que absorbe el agua, disminuyendo las pérdidas de agua por lavado y así contribuye a prevenir erosión del suelo.
- El biol mejora las condiciones químicas así como las cualidades del suelo mediante el almacenaje y abastecimiento de minerales y elementos nutritivos para las plantas.

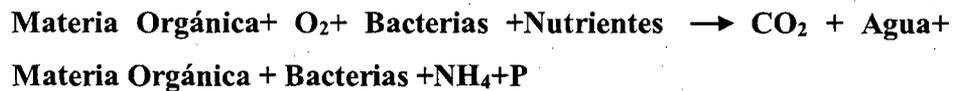
- La presencia de materia orgánica en el suelo ofrece un medio mas favorable y a veces mas esencial para el desarrollo de la micro flora, que al no contener bacterias patógenas, se biofertiliza en una sustancia inocua y apropiada para el desarrollo de una agricultura biológica.
- El uso de Biol presenta la ventaja de poseer gran cantidad de nitrógeno, en base seca, que la materia original, y que es más asimilable por las plantas. no posee mal olor, no contamina y no atrae moscas.
- Puede ser aplicado directamente al campo en forma liquida o bien ser deshidratado y almacenado para ser usado posteriormente.
- Puede ser utilizado también en la preparación de compostas mezclados con rastrojos.
- Puede utilizarse también para fertilizar los estanques de peces y en su alimentación.
- Se puede utilizar en los cultivos de hidroponía, en los que proporciona a la planta la humedad y los nutrientes que requieren sin utilizar la tierra.

## 2.5.-Proceso de Biodigestion.

### 2.5.1.- Proceso aeróbico.

El proceso aeróbico es llevado a cabo por bacterias aeróbicas que precisan de oxígeno atmosférico o disuelto en el agua. La materia orgánica es fermentada a partir de un aporte energético, dando lugar a una reacción exotérmica.

La fórmula general del proceso de biodigestion aeróbica es la siguiente:



Uno de los procesos aeróbicos para tratar los residuos sólidos orgánicos urbanos es el compostaje.

El tratamiento por Composteo es un proceso que se efectúa bajo condiciones aeróbicas, y puede desarrollarse tanto a nivel doméstico, como a nivel industrial en grandes plantas de composta.

El proceso de compostaje se desarrolla con la descomposición de la materia orgánica efectuada por microorganismos mediante condiciones de temperatura, humedad y oxigenación controladas, por lo general este proceso se da a una temperatura de entre 55° C y 60°C, lo que permite la destrucción de algunos patógenos. Durante el proceso, los materiales orgánicos son degradados a un material parecido al humus con excelentes propiedades para el suelo, con un pH en rangos de 6.5 a 8, que favorece el crecimiento saludable de las plantas y con alta capacidad de retención de agua. Sin embargo, este proceso puede efectuarse tanto en condiciones aeróbicas o anaeróbicas (con o sin oxígeno, respectivamente), aunque por regla general este proceso se efectúa de manera aeróbica (Aparca, 2005).

## 2.5.2.- Proceso anaeróbica.

### 2.5.2.1.-Proceso de Biodigestion Anaeróbica

La biodigestion anaerobia comprende una compleja serie de reacciones de digestión y fermentación que llevan a cabo diferentes especies bacterianas, en un ambiente sin aire. Este proceso biológico se basa en la transformación a través de reacciones bioquímicas de la materia orgánica contaminante en biomasa. Los productos son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); se le conoce con el nombre de biogás y un residuo semisólido rico en nitrógeno, llamado bioabono.

La digestión anaeróbica es una tecnología que permite una gestión sostenible de los residuos orgánicos agropecuarios mediante la conversión de una parte de la materia orgánica en biogás y en un efluente con características apropiadas para su uso como fertilizante y enmienda orgánica, ciertas bacterias presentes en los residuos orgánicos, se alimentan de estos residuos y eliminan metano y otros gases. Para mantener una población de bacterias suficiente, es necesario crear un ambiente apropiado de temperatura, pH, concentración de sólidos en el sustrato, entre otras variables. Algunas de estas variables pueden afectar de manera considerable el proceso de una forma crítica y se debe procurar mantenerlas dentro de los límites permisibles.

En la naturaleza se puede encontrar gran variedad de residuos orgánicos, a partir de los cuales se puede obtener biogás. Entre ellos se encuentra los desechos provenientes de animales domésticos, excreta humana, residuos vegetales como pastos, hojas secas y basura domestica (Llirod, M y López, J, 1995).

**Tabla N° 04.- Desechos agrícolas y de animales con potencial para producir biogás.**

<b>Desechos Animales</b>	Estiercoles, desechos alimentos, orina, etc.
<b>Residuos Agrícolas</b>	Semillas, pajas, bagazo de caña, hojas, tallos, ramas, etc.
<b>Desechos Industriales</b>	Sangre, carne, desechos de pescado, etc.
<b>Residuos Agroindustriales</b>	Aserrín, desechos de tabaco, cascarilla de arroz, desechos de frutas y vegetales

Fuente: Llirod, M y López, J. (1995).

Los alimentos principales de las bacterias anaeróbicas son el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos y amoniacos, etc.). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares (Llirod, M y López, J, 1995).

Entre las materias primas mas utilizadas en la generación de biogás, están los desechos animales, cuya relación Carbono/ Nitrógeno es casi siempre menor que la optima, debido a su contenido mas importante en nitrógeno. Otros materiales muy usados son los residuos agrícolas, los que generalmente tienen la relación carbono/ Nitrógeno muy altas, ya que contiene poco nitrógeno, por lo que generalmente se suele mezclar con desechos de animales o se les agrega un compuesto nitrogenado, como urea por ejemplo, para acercarse a un balance adecuado de carbono. La relación ideal de estos es de 30:1. Si el nitrógeno presente es menor al necesario se ve limitada la velocidad de producción del biogás; por otra parte, si esta en exceso, se produce mas amoniacos del requerido, el cual es toxico e inhibidor del proceso.

Es práctica común que se desarrolle en una localidad el uso de varios residuos disponibles, mezclándolos entre si para un mejor uso en un biodigestor (Llirod, M y López, J, 1995).

**Tabla N° 05.- Composición de algunos desechos para la producción de biogás en área rural.**

Material	% Humedad	% Solidos Totales	% Carbono Base Seca	% Nitrógeno Base Seca	Relación C/N en peso
<b>ESTIERCOL</b>					
Vacuno	79	21	32	1.5	21
Ovino	73	27	60	3.7	16
Equino	75	25	47	2.4	20
Porcino	69	31	73	2.6	28
Aves de corral	44	56	70	6.0	12
Auquénidos	57	43	42	3.7	11
Cuyes	32	60	37	2.2	17
Conejos	20	80	47	2.02	23
<b>DESECHOS AGRÍCOLAS</b>					
Chala de maíz	15	85	39	0.7	56
Paja de arroz	8	92	41	0.7	59
Paja de cebada	7	93	42	0.8	48
Paja de trigo	8	92	46	0.53	87
Tatora	35	65	41	0.23	178
Hoja de plátano	89	11	42	1.10	38
Pastos	67	33	40	2.52	16
Hierbas, hojas secas	50	50	41	1.0	41

Fuente: Llirod, M y López, J. (1995).

El biogás es formado por bacterias que provocan la putrefacción de la materia orgánica que se encuentra en un ambiente sin aire. Las bacterias anaeróbicas, responsables de la digestión no pueden sobrevivir ni siquiera

con la menor traza de oxígeno en la mezcla de estiércol que se alimenta al biodigestor, por ello, después de la carga pasa un largo periodo antes de que se produzca la digestión.

Durante este periodo aeróbico (con presencia de oxígeno) inicial, las bacterias amantes del oxígeno llegan a utilizar todo el oxígeno disponible y así liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Cuando desaparece el oxígeno, se puede iniciar el proceso de la digestión. Este proceso implica una serie de reacciones por parte de varios de bacterias anaeróbicas, que se alimentan con la materia orgánica bruta, y conforme se vuelven activos diferentes tipos de bacterias, los productos del primer tipo de bacterias proporcionan alimentos para las otras bacterias que inician su actividad, cuando las condiciones le es favorable

La bioquímica del proceso consiste en que la comunidad bacteriana metanogénica es capaz de recuperar y conservar la energía de oxidación – reducción, contenida en la materia orgánica por un juego combinado de reacciones en las cuales una parte de los compuestos es oxidada a gas carbónico, mientras que la otra parte es reducida a metano (Llirod, M y López, J, 1995).

#### 2.5.2.2.- Bacterias que intervienen en el proceso

El proceso de la biodigestión anaeróbica involucra siempre cuatro tipos de bacterias, la hidrolítica, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados; la acetogénica, productoras de hidrógeno; las homoacéticas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético; y las metanogénicas, productoras del gas metano.

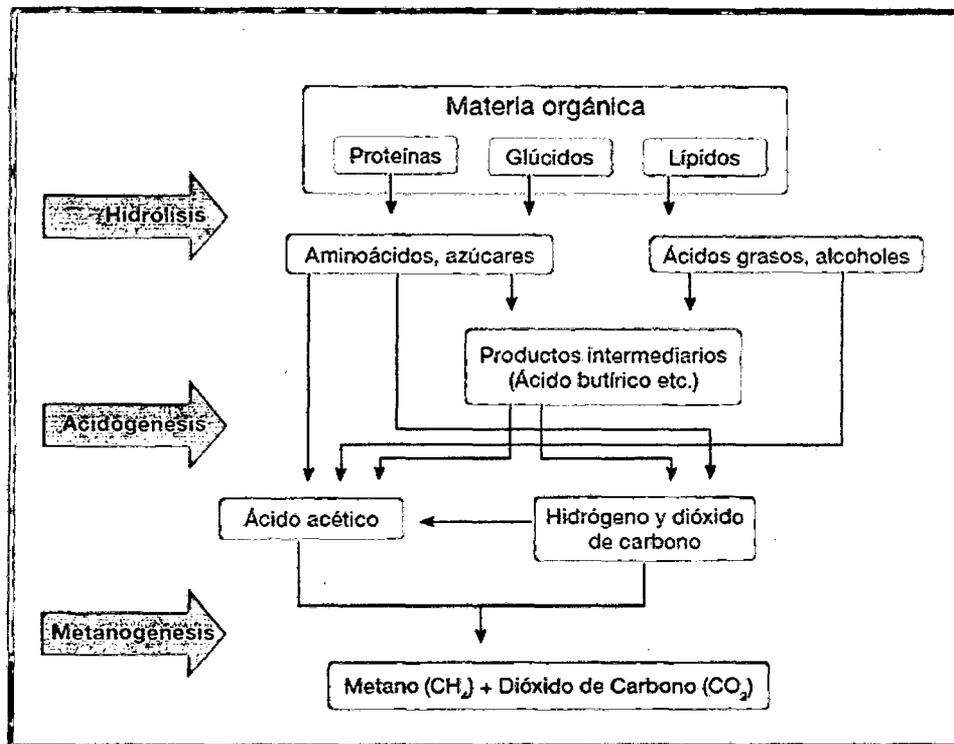
En la descomposición anaeróbica de los residuos, algunos organismos anaeróbicos trabajan juntos para llevar a cabo la conversión de la fracción orgánica de los residuos en un producto final estable. Es importante hacer notar la extrema interdependencia que existe entre ambos grupos de bacterias, pues, mientras las productoras de ácido suprimen el oxígeno y producen el alimento que permite la vida de las metanógenas, estas últimas eliminan los desechos ácidos y evitan que el medio se vuelva muy ácido permitiendo con ello la sobrevivencia del primer grupo.

Tomando en consideración las etapas en que se desarrolla la conversión biológica en condiciones anaeróbicas de la Biomasa; se puede establecer que la primera etapa (hidrólisis) implica la transformación mediada por enzimas de compuestos de masas moleculares más altas en compuestos intermedios identificables de masa molecular más baja; en la segunda etapa los productos solubles de la primera etapa se convierten en ácidos orgánicos volátiles de cadena corta y alcoholes, producto de la acción de endoenzimas; y la tercera etapa implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios a productos finales sencillos, principalmente metano y dióxido de carbono.

Se considera que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico. Para mantener un sistema de tratamiento anaerobio que establezca eficazmente un residuo orgánico, las bacterias no metanogénicas y metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico. Para establecer y mantener tal estado, los contenidos del reactor deberían estar libres de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibitorias de amoníaco libre y de constituyentes como metales pesados y sulfitos (Mandujano, 2001).

### 2.5.2.3.- Etapas de la fermentación anaeróbica.

La descomposición de la materia orgánica en el proceso de digestión anaerobia se divide en 3 etapas: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis realizadas simultáneamente (IDEA, 2007).



**Figura N°13: Esquema del proceso de digestión anaeróbica**  
Fuente: IDAE 2007

#### 2.5.2.3.1.- Etapa: Hidrolisis (Solubilización)

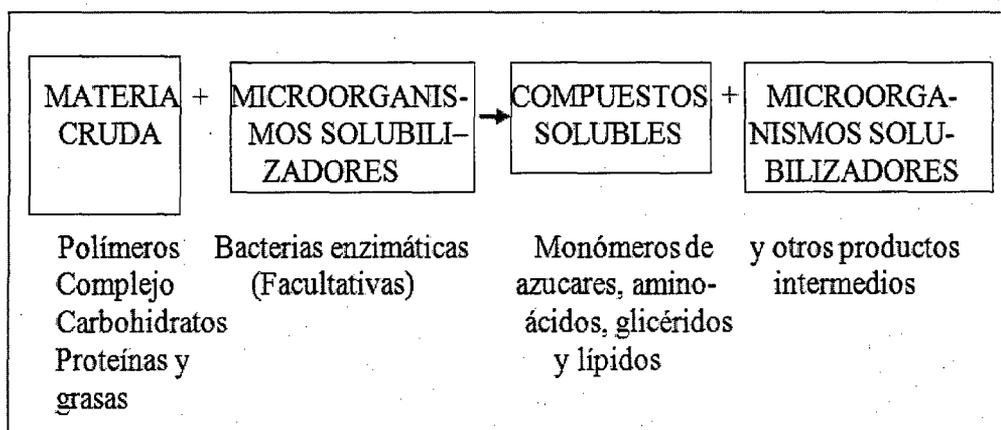
Los complejos orgánicos del desecho a digerir, son hidrolizados, es decir, transformados en compuestos simples y solubles en agua, se produce mediante la acción de un conjunto de enzimas (producidas por bacterias anaeróbicas facultativas) como las celulasas y amilasas, que transforman los polisacáridos en monosacáridos; las proteasas, que convierten las proteínas en péptidos y aminoácidos y finalmente las lipasas que transforman las grasas en ácidos grasos y glicerina.

El primer paso de la fermentación anaerobia es el proceso de Hidrólisis, que sucede en los polímeros orgánicos como los carbohidratos, lípidos, polisacáridos, grasas y proteínas. Los polímeros son hidrolizados hasta pequeños fragmentos, como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos de cadena larga, alcoholes y compuestos intermedios. Este proceso lo realizan microorganismos por medio de exoenzimas como la celulasa, almidasa, lipasa o proteasa.

Cualquier sustrato se compone de los tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. La hidrólisis de cada tipo de compuesto se realiza por diferentes grupos enzimáticos.

Esta primera etapa se caracteriza por ser aeróbica (con oxígeno), utilizando la mayor cantidad de oxígeno, liberando grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y es la que determina la velocidad de la fermentación, es la más lenta del proceso por que es muy difícil la degradación de la celulosa, la cual ocurre en un periodo más largo que el necesario para la descomposición de cualquier otro complejo orgánico (IDEA, 2007).

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso de fermentación dependen de muchos factores, entre otros del pH, la temperatura, la concentración de biomasa hidrolítica, tipo de materia orgánica y el tamaño de partícula. (Fig. N°14)



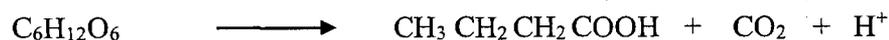
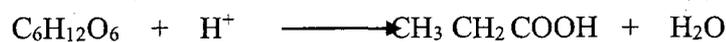
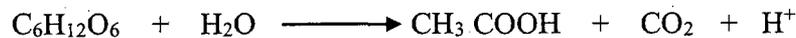
**Figura N°14: Etapa de Hidrólisis**  
Fuente: IDEA, 2007.

### 2.5.2.3.2.- Etapa: Acidogénesis

Este paso implica la conversión de células de los microorganismos, de los compuestos resultantes de la hidrólisis, como ácidos grasos de cadena larga, ácidos y amino ácidos, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como el ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), pequeñas concentraciones de ácidos grasos volátiles y otros ácidos más complejos que son utilizados en éste paso como sustratos por microorganismos metanogénicos. Pero los principales productos de ésta etapa son ácidos grasos volátiles,  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}_2$ ; los que mas tarde se combinarán para formar metano y agua (IDEA, 2007).

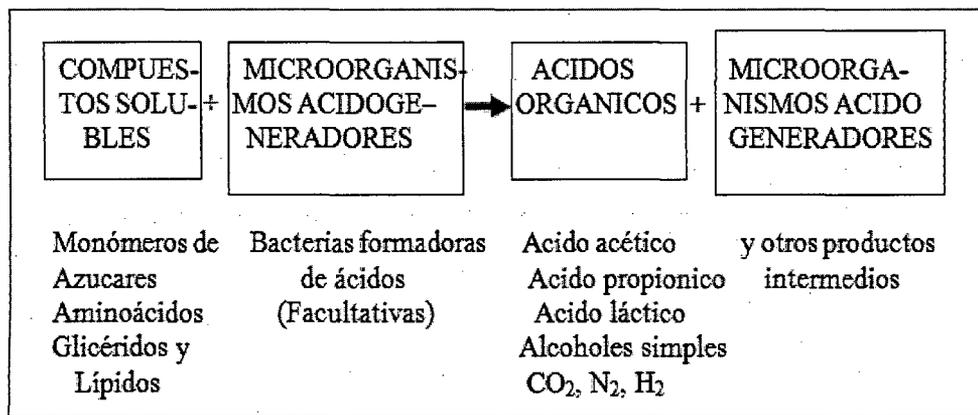
El ácido volátil mas importante de esta etapa es el ácido acético, el cual dará origen al 70% de la producción de metano. A partir del ácido acético se forma el ácido propionico ( $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{COOH}$ ) y ácido butírico [ $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_2 \text{COOH}$ ], que son intermediarios para formar metano. (Fig. N°15).

Las reacciones producidas son:



Reacción general acidogénica:





**Figura N°15: Etapa de Acidogénesis**  
Fuente: IDEA, 2007.

#### 2.5.2.3.3.- Etapa: Metanogénesis

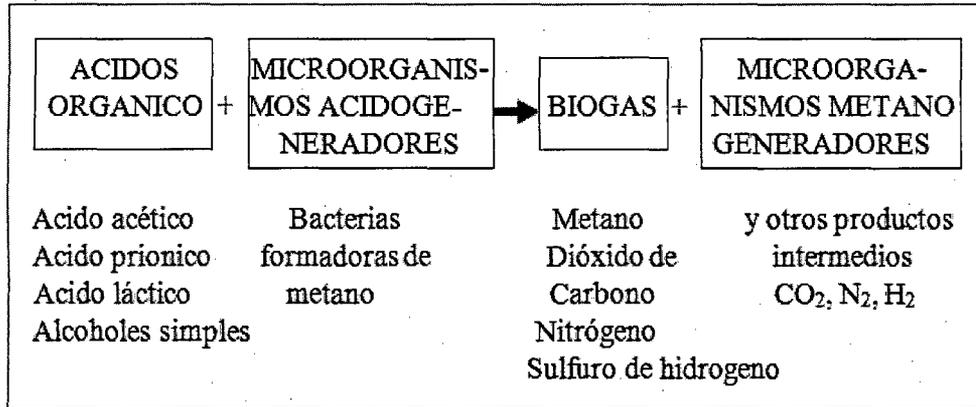
Ésta es la parte final en la fermentación anaerobia metanogénica; en esta fase se genera el CH<sub>4</sub> a partir de la descomposición del ácido acético o a partir de la fusión del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>.

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

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio morfológico que pueden ser bacilos cortos y largos, cocos de varias ordenaciones celulares, células en forma de placas y metanógenos filamentosos. Todas las bacterias metanogénicas poseen varias coenzimas especiales, siendo la coenzima M, la que participa en el paso final de la formación de CH<sub>4</sub>.

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos metanogénicos, en función del sustrato principal, dividiéndose en los hidrogenotróficos, que consumen hidrógeno y fórmico, y los metilotróficos o acetoclásticos, que consumen grupos metilos del acetato,

metanol y algunas aminas. Ésta reacción acetoclástica es una de las transformaciones metanogénicas más importantes en la digestión o fermentación anaerobia (IDEA, 2007).



**Figura N°16: Etapa de Metanogénesis**  
Fuente: IDEA, 2007.

Dentro de estas etapas tiene mucha importancia la concentración de H<sub>2</sub> porque permite controlar la proporción de los productos de la reacción. Así, cuando el hidrogeno aumenta, debido a la disminución del tiempo de retención o por sobrecarga orgánica, se tiende a que la formación de metano se da vía acido propionico y butírico, en lugar de la ruta normal vía acido acético, lo cual generalmente conlleva a la acidificación.

Todas estas tres etapas se producen en un biodigestor anaeróbico, se presentan de la siguiente manera: inicialmente se produce una cantidad de ácidos, sin embargo mientras la concentración de ácidos volátiles aumenta, se incrementa la concentración de nitrógeno amoniacal, produciéndose una disminución de los ácidos volátiles y del potencial redox, y en consecuencia, aumenta la producción de biogás y su contenido de metano.

Después de esta biosucesion, el valor del PH, el potencial Redox, el rendimiento de biogás y su contenido en el metano se estabilizan (IDEA, 2007).

### 2.5.3.- Factores que Influyen en la Fermentación Anaeróbica

#### 2.5.3.1.- Temperatura.

Es uno de los factores de mayor influencia en el proceso de fermentación, por su acción directa sobre la actividad de las bacterias metanogénicas. La acción enzimática de los organismos metanogénicos se ve favorecida por temperaturas comprendidas entre 15°C y 60°C, y se duplica con cada aumento de temperatura de 10°C. Dicha acción enzimática es máxima a una temperatura que recibe el nombre de temperatura óptima. Por encima de la temperatura óptima disminuye la acción enzimática, hasta terminar en la zona comprendida entre 70°C y 100°C, en este punto las enzimas se destruyen o inactivan en forma irreversible (Schimid y Lipper citados en Domínguez, L., 2008).

La descomposición anaeróbica se desarrolla en mejores condiciones dentro de los rangos 20°C – 38°C (mesofílico) y 50°C – 60°C (termofílico), puesto que existen grupos de bacterias productoras de ácidos y metano que medran en cada uno de esos rangos de temperatura. Algunas materias primas, tales como las algas, para su biodigestión requieren de la gama de temperaturas más alta; sin embargo los biodigestores no suelen funcionar en este rango de temperatura alto, porque:

- a. La mayoría de los materiales se digieren en la gama de temperatura más baja.
- b. Las bacterias termofílicas son muy sensibles a cualquier cambio en el biodigestor.
- c. Los sedimentos que se producen tienen baja calidad como fertilizantes.

d. Es difícil mantener estas temperaturas altas, sobre todo en las zonas de clima templado, las bacterias que producen metano en el rango de 32°C– 35°C son más estables, producen un sedimento de alta calidad. La misma masa de estiércol se digerirá dos veces más rápidamente a 35°C que a 15°C y produce cerca de 15 veces más gas en la misma cantidad de tiempo.

En lugares donde la temperatura es menor de 20°C, la producción de gas disminuye, limitándose por debajo de 14°C y casi anualmente a 7°C. Debe evitarse cambios repentinos de temperatura ya que originan desequilibrios como la acumulación de ácidos volátiles. Cuando mayor sea la temperatura de digestión mayor será la producción de biogás.

La acción de las bacterias termofilicas se estudia desde hace tiempo, y aunque su rendimiento (alta actividad de degradación), desde el punto de vista de la generación de gas (altas producciones) y reducción de los tiempos de retención, ha dado mejores resultados que las bacterias mesofilicas a igual temperatura ambiental.

La temperatura tiene un efecto de importancia en cuatro variables que controlan el proceso de producción de biogás: La velocidad específica máxima de crecimiento, la constante cinética, el tiempo mínimo de retención (tiempo crítico) y la velocidad de generación de gas (Schimid y Lipper citados en Domínguez, L., 2008).

A.1.- Influencia de la temperatura sobre la velocidad específica máxima de crecimiento.

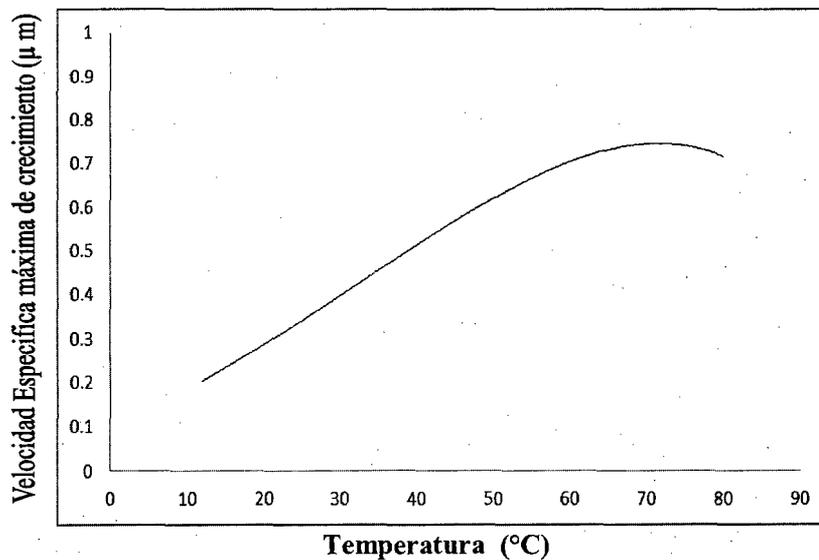
En los procesos biológicos una elevación de la temperatura en 10 °C implica realizar el mismo proceso con la mitad de microorganismos activos. Dada la naturaleza de los procesos biológicos, esta regla es apreciable en un campo muy restringido de temperaturas. Aun con tales limitaciones, la influencia de la

temperatura es un factor decisivo y solo un buen conocimiento de sus efectos sobre la cinética de la reacción hace posible un diseño adecuado de las instalaciones de fermentación y de los sistemas de control.

En el grafico N°01, se puede apreciar el efecto de la temperatura de operación sobre la velocidad específica máxima de crecimiento ( $\mu_m$ ) en los procesos de fermentación metánica. En ella se observa que la curva que une los puntos experimentales marca los máximos de  $\mu_m$ , los cuales corresponden a los rangos óptimos de temperatura para los procesos termofilicos y mesofilicos.

Los datos obtenidos en los estudios realizados por Pfeffer (1974), O'Rourke (1968), Morris (1976) y Bryant (1976), han permitido obtener la curva del grafico N°01. Todos estos investigadores concuerdan en afirmar que entre 40°C - 42°C y 60°C - 65°C esta el rango de temperatura óptima para los microorganismos mesofilicos y termofilicos, respectivamente.

**Grafico N°01: Efecto de la temperatura sobre la velocidad específica máxima de crecimiento**



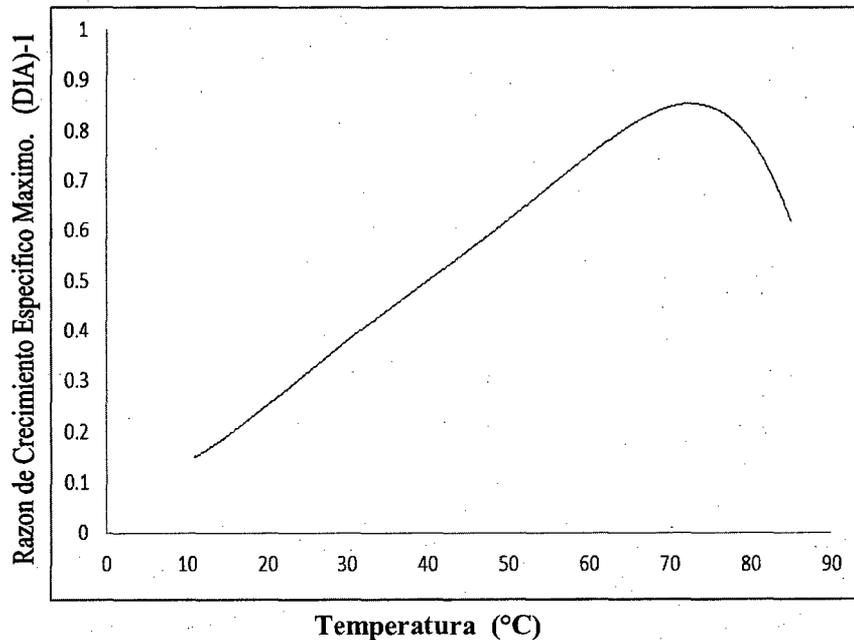
Fuente: Adaptada de Montenegro, (1986)

Existe, además, otro punto de vista para relacionar la influencia de la temperatura y la velocidad específica máxima de crecimiento ( $\mu m$ ), entregado por Hashimoto (1981).

Esta relación se puede observar en el grafico N°02, para la construcción de esta curva, Hashimoto hace uso de los mismos datos experimentales del grafico N°01. Analizando estos datos (grafico N°02), se puede observar que a temperaturas sobre los 60°C,  $\mu m$  disminuye rápidamente. Los datos de Pfeffer a 40°C y 45°C y aquellos de Bryant de Varel, et al, a 60°C, no concuerdan, sin embargo, con resultados de la correlación empírica de Hashimoto (1981), expresan la velocidad específica máxima de crecimiento en función de la temperatura como:

$$\mu m = 0.013T - 0.129 \quad \dots\dots\dots (1)$$

**Grafico N°02: Efecto de la temperatura sobre la velocidad específica máxima de crecimiento**

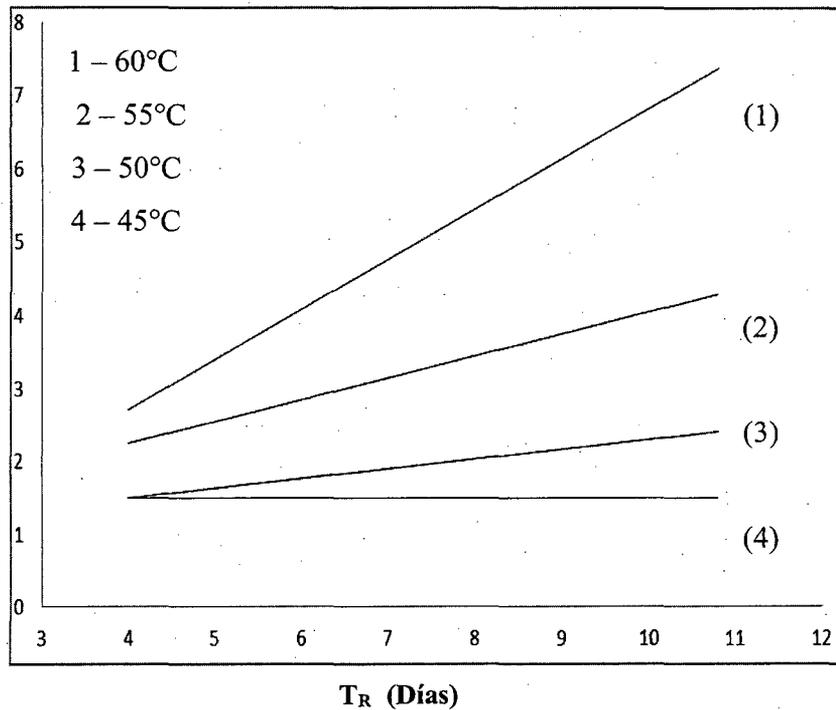


Fuente: Adaptada de Montenegro, (1986)

## A.2.- Influencia de la temperatura sobre la constante cinética.

En contraste con lo expuesto, pareciera que la temperatura no tiene influencia importante sobre el valor de la constante cinética  $K$  para temperaturas inferiores a  $50^{\circ}\text{C}$ .

**Grafico N°03: Parámetro cinético  $K$  en función del tiempo de retención a varias temperaturas.**



Fuente: Adaptada de Chen et al., (1986)

Como se puede apreciar en este grafico, a  $45^{\circ}\text{C}$  y  $50^{\circ}\text{C}$  el valor de  $K$ , permanece prácticamente constante, mientras que entre  $55^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$ , se observa una fuerte dependencia de  $K$  con la temperatura. Chen et al. (1984) atribuyen esta dependencia a la inhibición por amoníaco.

### A.3- Influencia de la temperatura sobre el tiempo mínimo de retención o tiempo crítico ( $\theta$ ).

A pesar que esta dependencia no se ha determinado en forma satisfactoria, Lawrence y Mc Carty (1968) afirman que para 25°C y 15°C de temperatura de fermentación, el tiempo crítico de retención puede variar entre 1.2 – 1.5 y 2 – 3 veces, respectivamente, el valor de dicho tiempo a 35°C.

### A.4- Influencia de la temperatura en la velocidad de generación de biogás.

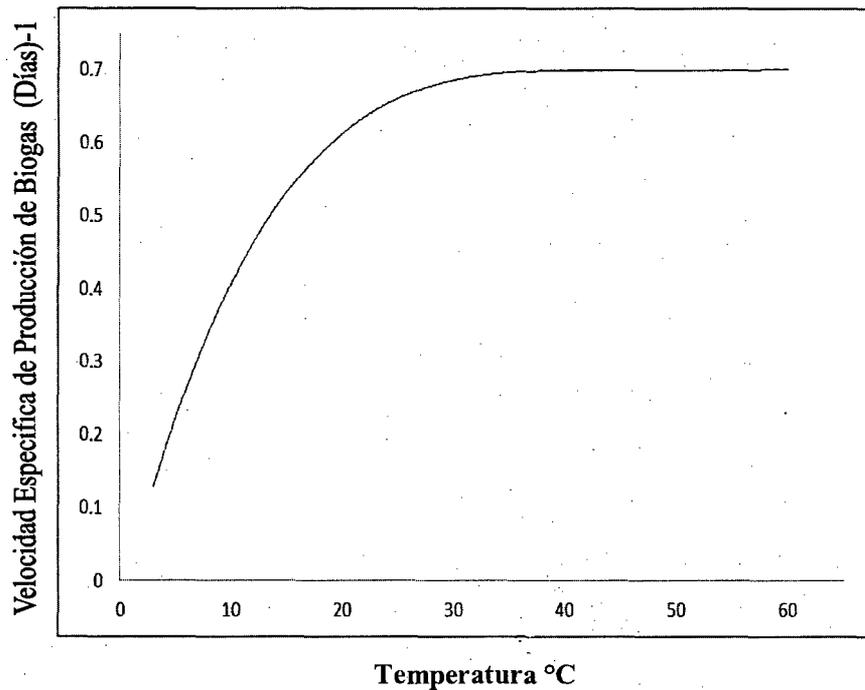
En este caso puede decirse que la velocidad de generación de biogás es más alta en el rango termofílico de temperatura que en el mesofílico. En el gráfico N°04 se puede observar como la velocidad específica de producción de gas  $Y_v$ , aumenta a medida que lo hace la temperatura del biodigestor.

Es así que para:

$$\begin{array}{ll} T = 37^{\circ}\text{C} & Y_v = 0.44 \text{ (Días)}^{-1} \\ T = 55^{\circ}\text{C} & Y_v = 0.55 \text{ (Días)}^{-1} \end{array}$$

Igualmente se puede observar que a partir de una cierta temperatura (50°C – 55°C), las variaciones de  $Y_v$  son muy pequeñas.

**Grafico N°04: Efecto de la temperatura sobre la velocidad específica de producción de gas.**



Fuente: Adaptado de Scharer y Moo Young (1986)

#### 2.5.3.2.- pH y Alcalinidad

El pH es el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, y se puede medir mediante papeles reactivos o mediante potenciómetros. Para la fermentación anaeróbica, el fluente debe mantener un pH neutro. Las bacterias metánicas trabajan óptimamente en los siguientes rangos:

Alcalinidad:	1500	a	5000	mg/l	: $\text{CaO}_3$
Valor de pH:	6.5	a	7.5		
Ácidos volátiles:	600	a	1500	mg/l	

Si el comportamiento de descomposición es sobrecargado exageradamente con material orgánicos, entonces disminuye el valor del pH de las bacterias productoras de ácido y la actividad de las bacterias metanogénicas se contrae. Con el fuerte añadido de sustancias que

contienen nitrógeno puede resultar la biomasa muy alcalina, envenenándola (Yongfu et al citado en Domínguez, L., 2008).

Al inicio del proceso al formarse ácidos orgánicos y  $\text{CO}_2$  (el cual forma ácido carbónico), el pH baja alrededor de 6 a 6.5; pero cuando estos ácidos se consumen, al producirse metano, el pH aumenta. Dentro del biodigestor el pH se auto regula con diversos cambios que ocurren durante la digestión. En el primer periodo el pH tiende a bajar debido a la producción de ácidos volátiles, luego de unas semanas este se eleva de acuerdo al actuar de las bacterias metanógenas que al degradar las proteínas aumenta el amoníaco subiendo el pH.

Si el pH disminuye ya sea por aumento repentino de la carga, presencia de materias tóxicas o cambios súbitos de temperatura, para evitar esta acidez, se puede corregir dejando de alimentar carga durante un corto tiempo o adicionando sustancias alcalinas como agua de cal, cenizas o hidróxido de amonio, que reducen principalmente sustancias tóxicas como ácidos volátiles, hasta poder restaurar el equilibrio.

En caso contrario, si el pH aumenta, se corrige agregando ácido acético para ayudar a que se regule la biodigestión y el pH disminuya.

Es decir, una solución demasiado ácida puede frenar bruscamente el proceso de fermentación. Si el pH aumentara traerá como consecuencia la formación de  $\text{CO}_2$  y el proceso de digestión disminuirá; pero si el pH baja, las bacterias no serán capaces de utilizar los materiales ácidos adecuadamente y el proceso se detendrá por completo (Yongfu et al citado en Domínguez, L., 2008).

### 2.5.3.3.- Relación carbono - nitrógeno. (C/N)

El substrato es el material orgánico que las bacterias transforman hasta convertir en biogás. Como substrato se emplean los desechos orgánicos de tipo animal (estiércol de vacuno, porcino, cuy y aviar) y/o vegetal (desechos de arroz, maíz, grama). Se recomienda que los desechos animales sean como mínimo 2/3 del total del substrato.

Desde el punto de vista biológico, se puede ver al biodigestor como un criadero de bacterias que se alimentan de los desechos orgánicos y transforman. Los alimentos principales de las bacterias con el carbono (en forma de carbohidratos), y el nitrógeno (en forma de proteínas, nitratos, amoníaco, etc.). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. Las bacterias necesitan tanto carbono como nitrógeno para su crecimiento y reproducción (actividad metanogénica), pero consumen carbono de 25 a 30 veces más que su uso de nitrógeno (Llirod, M, 1995).

Las condiciones de cultura óptima se dan a partir de una distribución proporcionada entre la cantidad de carbono y nitrógeno de mezcla. Si existe mucho nitrógeno en ella se forma el inhibidor amoníaco, y si por el contrario hay poco, las sustancias ricas en carbono no pueden ser de todo utilizadas. Se debe tender a mantener la siguiente composición:

$$\text{Carbono / Nitrógeno} = 25 - 30 / 1$$

Por lo tanto, si la relación es alta, o sea poca concentración de nitrógeno (N), traerá como consecuencia que algunas bacterias mueran por falta de nitrógeno, empleando las restantes el nitrógeno que constituyen las células de aquellas. En este caso si hay demasiado carbono en la materia a fermentar, el proceso se hace más lento y tiende a acidificarse, el pH bajaría a extremos no permisibles para las bacterias metanogénicas y la producción de gas cesaría.

Si la relación es baja o sea demasiado nitrógeno, el carbono (C) se terminara antes que el nitrógeno (N) originando que el proceso de fermentación se detenga y posteriormente el material perderá el (N) remanente. Este exceso de nitrógeno este se perderá como amoniaco;(pudiéndose llegar a concentraciones que afectarían a las sensibles bacterias productoras de metano), elevando el pH y reduciendo el poder fertilizante y nutriente del biol.

La idea de la digestión anaeróbica es convertir todo el carbono posible a  $CH_4$ , con la menor perdida posible de N. Así el ratio C/N conveniente debe estar comprendido entre 25 y 30, y para lograrlo habrá que combinar materiales pobres de nitrógeno (pajas, rastrojos) con materiales ricos en nitrógenos (excreta, orina, estiércol, etc.) (Llirod, M, 1995).

#### 2.5.3.4.- Dilución o concentración de solidos.

Toda materia orgánica esta constituida de agua y una fracción solida, esta ultima llamada "solidos totales". El porcentaje de solidos totales contenidos en la mezcla con que se carga al biodigestor, esta también un factor importante a considerar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria. Este contenido de solidos totales en una fermentación básicamente, depende del sistema de digestión escogido, el que puede ser de régimen continuo, semicontinuo y batch o por lotes (Llirod, M, 1995).

Experimentalmente se ha observado que para sistemas semicontinuos y continuos, la mezcla dentro del digestor debe ser de diluciones altas, que pueden fluctuar entre 6% al 10% de solidos totales, para que tenga la fluidez necesaria a fin de facilitar la carga y descarga.

Para los sistemas del tipo batch, la mezcla no requiere fluidez, pudiéndose trabajar con diluciones de 25% al 35% de solidos totales.

Si la pasta de alimentación al biodigestor es muy seca, el biodigestor se obstruye, además se forma amoníaco, el cual inhibe la acción de las bacterias metanogénicas.

Por otro lado, si se usa mucha agua, el efluente que queda como residuo de la digestión, sale muy líquido y presenta dificultades para su transporte y aplicación como fertilizante, para calcular el volumen fertilizante. Para calcular el volumen de agua debe ser mezclado con la materia prima para dar la dilución adecuada, es indispensable conocer el porcentaje de sólidos totales de ésta.

Uno de los factores que afecta a la cinética del proceso en forma directa, es la concentración de sólidos asimilables ( $S_0$ ) contenida en el influente. Es por ello que la velocidad de carga ( $S_0/\theta$ ) constituye una de las variables críticas en el diseño de los biodigestores anaeróbicos. Otra variable de importancia es la concentración de sólidos volátiles en la alimentación ( $SV/L$ ) (Llirod, M, 1995).

#### 2.5.3.5.- Tiempo de retención.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La de degradación depende entre otros factores de la composición del sustrato y de la temperatura. 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. (Martí, 2008).

**Tabla N° 06.- Tiempo de retención ( $\theta$ ) en función de la temperatura**

<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Tiempo de retención <math>\theta</math> (días)</b>
12 - 15	60
15 - 20	50
>20	40

Fuente: Thi Thanh, Pham Khanh et al. 2005

El tiempo de retención determina el tiempo promedio en el cual una bacteria tiene acceso a un substrato dado o el tiempo que una partícula de substrato esta expuesta al ataque microbiano. De los dos modos expresados se deduce que los digestores o fermentadores pueden tener dos tiempos de retención: uno para la población microbiana (tiempo de retención bacteriano) y otro para el medio o substrato en el cual las bacterias están suspendidas (tiempo de retención hidráulico).

Para sistemas a pequeña escala, se considera un solo tiempo de retención debido a que ellos no usan dispositivos para separar la población bacteriana e impedir su eliminación junto con el material tratado que sale del digestor. En un biodigestor que trabaja en régimen no estacionario (batch o lote) el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga al sistema y su descarga (Martí, 2008).

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

#### **3.1.- Materiales y servicios.**

Para la construcción del Biodigestor tipo Chino, se consideraron los siguientes materiales y servicios.

##### **A. Materiales para Construcción del Biodigestor:**

- Cemento
- Arena
- Piedra chancada.
- Alambre construcción.
- Varillas de fierro.
- Palanas.
- Impermeabilizante Sika.
- Pegamento de tubería PVC.
- Tubería PVC desagüe.
- Tubería PVC Agua.
- Tuberías Inox.
- Accesorios Inox

##### **B. Materiales para puesta en marcha del Biodigestor.**

- Cilindros.
- Baldes de 20lt.
- Balde de 1 gal.
- Sacos.

##### **C. Materiales para toma de muestras.**

- Frascos.
- Libreta de campo.
- Guantes quirúrgicos.

D. Materiales para procesamiento de datos.

- Computadora.
- Calculadora científica.
- Papel Bond.

E. Equipos para la toma de datos de campo.

- Termómetro ambiental.
- Termómetro de agua.
- Termocupla.
- Multitester.
- Pehachimetro.
- Cámara digital.

F. Servicios.

- Servicio de análisis de muestras en el laboratorio.
- Movilidad y pasajes.
- Impresión.
- Copias.
- Empastado.

## 3.2.- Metodología

La metodología desarrollada en este proyecto, fue la siguiente:

### 3.2.1.- Diseño de Investigación

#### A. Tipo de Investigación

- Según el fin o Propósito:

La investigación planteada es de tipo Aplicativa.

- Según el Diseño o la Naturaleza:

La investigación es de tipo Descriptiva.

#### B. Población y Muestra

- La muestra y la población son únicas, comprende el biodigestor que fue construido en la Institución Educativa Privada Cristina Bereshi.

#### C. Variables

- La variable independiente:

- Calidad del Biogás.

- Las variables dependientes:

- La relación C/N.

- La temperatura de fermentación.

- El pH del sustrato.

### 3.2.2- Características del Biodigestor

El biodigestor instalado en la Institución Educativa Particular Cristiana Bereshi, posee las siguientes características: Volumen del biodigestor: 3.6 m<sup>3</sup>; Radio del biodigestor: 0.8 m. la construcción se empezó llevando a cabo desde Noviembre 2013 hasta inicios de Enero del 2014.

#### A. Alimentación del Biodigestor

La alimentación del biodigestor consta de estiércol de cuy y de conejo con agua en una proporción de mezcla de 1:3

### 3.2.3- Método analítico.

#### 3.2.3.1.- Muestreo:

El muestreo de la Biomasa, Biol y Biogás se efectuó en dos etapas, las cuales se diferencian por el proceso de digestión anaerobia y tiempos estimados para los procesos de estabilización de parámetros.

Las frecuencias de recolección se dieron de la siguiente manera:

**Tabla N° 07.- Características de muestreo.**

Etapas	Características de muestreo
Primera etapa	Se muestreó una vez estabilizados algunos parámetro de carga.
Segunda etapa	Se estabilizaron los parámetros del material de carga.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 08.- Frecuencia de muestreo.**

Tiempo en semanas.	Biol.	Biogás.	Etapas.
25/02/2014	Se muestreó los parámetros microbiológicos y los nutrientes.	Horas de cocción en condiciones iniciales.	Primera etapa

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.3.2.- Tipo de muestra

Las muestras recolectadas fueron muestras simples, luego de la recolección las muestras fueron transportadas al laboratorio para sus análisis.

### 3.2.3.3.- Recipiente

Para la recolección de las muestras de la Biomasa y el Biol, se utilizaron frascos que se muestran en el cuadro.

**Tabla N° 09.- Características recipientes.**

Muestra	Frascos
Biomasa	Un frasco ámbar de vidrio de 0.5 litro para pruebas físicas y químicas.
Biol	Un frasco blanco de plástico de 1 litro para los nutrientes.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.2.3.4.- Medición de parámetros físicos – químicos in situ.

Para la medición de los parámetros físico - químicos se utilizaron los siguientes equipos.

- Pehachimetro
  - Rango de medición: 0.00 - 14.00 pH.
  - Dimensión: 150mm x 27mm x 20mm.
  
- Termómetro ambiental.
  - Medición de temperatura: -10°C a 50°C (+/- 1.1°C.)

Para conocer las condiciones de temperatura ambiental, pH, temperatura de mezcla, humedad relativa, se midieron dichos parámetros.

### 3.3.- Metodología para el diseño de un biodigestor tipo Chino

#### 3.3.1.- Factores de construcción

El Biodigestor puede estar hecho con diferentes materiales de construcción, y puede estar enterrado o sobre el nivel del suelo.

La campana almacenadora de gas, llamada gasómetro, cubre el biodigestor, la función de esta campana es la de almacenar el gas que se produce en el biodigestor, además ejerce presión al gas para el consumo.

Dispone de un tanque de carga en donde se prepara la mezcla de la materia prima, con agua y a través de un ducto es depositada en el fondo del Biodigestor. La capacidad de este, debe ser igual al volumen del material a digerirse, que requiere el biodigestor, adicionalmente se coloca un tanque de descarga donde se almacena el biol (Abono) que sale del biodigestor y debe estar colocado a 180° del tanque de descarga.

Para complementar un proyecto de Biogás, se hace necesario tener muy en cuenta ciertas consideraciones que a la postre toman en las decisoras del éxito o fracaso en la funcionalidad de un sistema, así podemos citar:

#### A. Selección del local de implementación (sitio a construirse)

- Debe ser de acceso fácil durante todo el año.
- Verificar de no estar expuesto a fuertes y continuas corrientes de vientos.
- Verificar la disponibilidad de agua suficiente permanente para la carga regular y limpieza.
- Que posibilite un retirado completo de la carga (en caso de limpieza).
- Debe procurarse un sitio con bastante insolación.

### 3.3.2.- Dimensionamiento

El tiempo de retención es un parámetro que únicamente es exacto en los reactores tipo Batch. Para los biodigestores de funcionamiento semicontinuo, un valor aproximado será el que se obtiene de dividir el volumen del biodigestor por el volumen de sustrato alimentado. Los factores de diseño, la geometría del biodigestor, el mezclado etc., podrán hacer variar este parámetro de forma notable para algunos contenidos concretos del sustrato. Así el tiempo de retención mínimo a aplicar dependerá de la temperatura de trabajo y de la naturaleza del sustrato.

**Tabla N° 10.- Tiempo de retención en rango Mesofílico**

<b>Tipo de estiércol</b>	<b>Tiempo de retención</b>
Estiércol Líquido de Vaca	20 – 30 días
Estiércol Líquido de Cerdo	15- 20 días
Estiércol Líquido de Ave	20- 40 días

**Fuente:** Carrasco, 2008

Aparte de eso, las limitaciones y los requerimientos operativos deben ser considerados:

- Tipo y composición del material orgánico, que determine el tipo de proceso.
- Cantidad de Biomasa disponible.
- Demanda de biogás y del Biol.
- Temperatura media del lugar.
- Disponibilidad de materiales de construcción.
- Capacidad financiera del usuario.

El tamaño del biodigestor depende de la cantidad, la calidad y el tipo de Biomasa disponible, así como de la temperatura de trabajo.

Para el cálculo del biodigestor se puede partir de dos análisis diferentes:

- Que se conozca las cantidades exactas de las materias orgánicas que deseamos procesar y a partir de ellas calcular todo el biogás y biol, así como el tamaño adecuado del biodigestor para el tratamiento de el material deseado.
- Que conozcamos la cantidad de energía biogás y abono que se requiere suministrar y a partir de estos valores, calcular la materia orgánica que se requiera y su correspondiente biodigestor.

Para determinar las necesidades energéticas de la propiedad hay que considerar los siguientes parámetros:

**Tabla N° 11.- Necesidades Energéticas**

<b>Artefactos</b>	<b>Consumo Energético</b>
Cocina	0.13 m <sup>3</sup> gas / persona/día
Iluminación	0.12 m <sup>3</sup> gas /hora/lámpara
Motor	0.4 m <sup>3</sup> gas / hP/hora
Refrigerador	2.5 m <sup>3</sup> gas /día

Fuente: Carrasco ,2008

Por cualquiera de los dos caminos mencionados, se llega al dimensionamiento del biodigestor.

**A.- Cantidad total de estiércol ( $Md_{TOTAL}$ )**

La cantidad total de estiércol se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Md_{TOTAL} = N * Md \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

N = Cantidad de animales, que proporcionan estiércol.

Md = Cantidad de estiércol que produce cada animal.

**B.- Cantidad de Mezcla (Sd).**

Se debe considerar la cantidad de agua requerida para preparar la mezcla de digestión, para la cual anotamos la siguiente tabla.

**Tabla N° 12.- Porciones de Agua**

<b>Animales</b>	<b>Mezcla</b>
Bobino	1:1
Porcino	1:2
Aves	1:1
Equino	1:2
Desechos Humanos	1:1
Desechos vegetales	1:0.5 – 2

Fuente: Carrasco ,2008

La cantidad de mezcla se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Sd = (1 + m) * Md_{TOTAL} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$Md_{TOTAL}$  = Cantidad total de estiércol

$m$  = Relación mezcla

### C.- Volumen del Biodigestor (Vd).

El volumen del Biodigestor se determina a partir del tiempo de retención hidráulica ( $\theta$ ) y la cantidad de sustrato introducido ( $Md_{TOTAL}$ ) así tenemos la siguiente ecuación

$$Vd (m^3) = (\theta * Sd) / 1000 \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

$Sd$  = Cantidad de mezcla (Kg mezcla/día)

$\theta$  = Tiempo de retención (días)

El tiempo de retención viene dado por la temperatura de trabajo del biodigestor. Para una planta no calentada, se tiene que si esta enterrada se encontrara uno o dos grados por encima de la temperatura del suelo. Se deberá considerar la variación estacional de la temperatura, dimensionado el tamaño en función de las condiciones más desfavorables. Para una planta simple, el tiempo de retención estar en unos 40 días. Aun así la experiencia ha demostrado que plantas con tiempo de retención hidráulica de 60 - 80 días, y hasta 100 días funcionan, y con un mayor tiempo de retención se consigue una mayor producción de gas, alcanzando producciones de hasta un 40% más.

El volumen del sustrato introducido dependerá de la cantidad de agua que se añada para alcanzar la proporción de sólidos adecuados, del 4 – 8%.

**D.- Producción de Biogás por día (G).**

Para determinar la cantidad total de energía que se puede utilizar, debemos conocer la producción de biogás que produce 1 kg. de estiércol de cada tipo de animal.

**Tabla N° 13.- Producción de Biogás.**

<b>Cantidad de estiércol por animal</b>	<b>Productividad de Biogás</b>
1kg. De estiércol bovino	0.038 m <sup>3</sup> de Biogás
1kg. De estiércol de ave	0.035 m <sup>3</sup> de Biogás
1kg. De estiércol porcino	0.043 m <sup>3</sup> de Biogás
1kg. De estiércol vegetales	0.040 m <sup>3</sup> de Biogás

Fuente: Carrasco, 2008

La cantidad producción de Biogás por día, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$G (m^3) = Sd_{TOTAL} * Y \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Sd = Cantidad de mezcla (Kg mezcla / día).

Y = Productividad de Biogás (m<sup>3</sup>/kg Estiércol)

Se debe añadir un 5 al 10 % de total por margen de seguridad (F)  
esto es:

$$G_t = G + (G \cdot F) \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

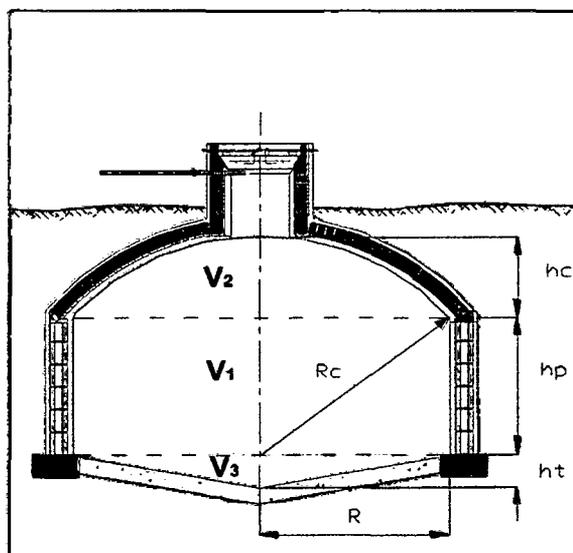
G = Producción de Biogás por día (m<sup>3</sup> /día).

F = Factor de seguridad (5-10%)

### 3.3.3- Diseño Biodigestor tipo Chino

En base al volumen del biodigestor calculado anteriormente,  
debemos conocer el resto de dimensiones del biodigestor, para lo  
cual seguimos la siguiente metodología.

Generalmente los biodigestores son cilíndricos, debido a que esta  
forma geométrica es muy consistente, requiere menor cantidad de  
materiales de construcción, y eliminar las aristas o esquinas de las  
paredes que puedan permitir fugas de gas.



**Figura N°17: Esquema Biodigestor tipo Chino.**  
Fuente: Dr.C Yoandro Rodríguez Ponce, 2013

Definido el Volumen Total Requerido, nos ayudara a calcular el radio base.

$$R = \sqrt[3]{\frac{V d}{\pi * 1.121}} \dots\dots\dots (6)$$

$$U = R / 4 \dots\dots\dots (7)$$

Donde: U= Unidad

Con el valor de U se realiza el dimensionamiento proporcional del resto de los elementos geométricos.

### 3.3.3.1- Calculo de la Campana

Como se requiere almacenar la producción de Biogás, que se realiza en el proceso anaeróbico, en el Biodigestor. Se considera como referencia la figura N°17.

#### A. Altura de campana (hc).

Se define la altura de campana con la siguiente ecuación.

$$hc = U * 2 \dots\dots\dots(8)$$

#### B. Volumen de parcial de la campana (V<sub>2</sub>)

Se define al volumen parcial de la campana con la siguiente ecuación.

$$V_2 = h^2_c * \pi * (Rc - (hc / 3)) \dots\dots\dots (9)$$

$$Rc = 6 * U \dots\dots\dots (10)$$

### 3.3.3.2- Calculo del cono base

Para el cálculo de la base cónica, e considera como referencia la figura N°17.

A. Altura del cono de base (ht).

$$ht = 0.15 * D \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

$$D = 8 * U$$

B. Volumen parcial de la base (V<sub>3</sub>)

Se define al volumen parcial de la base con la siguiente ecuación.

$$V_3 = R^2 * \pi *(ht /3)\dots\dots\dots (12)$$

### 3.3.3.3- Calculo de la pared

Teniendo en consideración la figura N° 17, nos ayudara a conocer el valor de la altura requerida para el volumen parcial que contendrá el sustrato a introducir al biodigestor, en las siguientes ecuaciones

$$V_1 = R^2 * hp * \pi\dots\dots\dots (13)$$

Donde:

$$V_1 = Vd.$$

$$\text{Volumen total: } V_1 + V_2 + V_3 \dots\dots\dots(14)$$

#### IV.- CALCULOS PARA LA CONSTRUCCION DEL BIODIGESTOR

Para el presente trabajo y la construcción del biodigestor, tomaremos el primer caso, es decir por las cantidades exactas de materia orgánica que deseamos procesar y a partir de ellas calcular todo el Biogás y el Biol, para lo cual debemos considerar lo siguiente:

- Tipo de animal del que procede el estiércol y número aproximado de los mismos.
- Disponibilidad de estiércol (materias primas) en la propiedad.

##### 4.1.- Calculo de la cantidad total de estiércol

##### 4.1.1.- Materia Prima

La materia prima que se empleo en la investigación fue el estiércol fresco de cuy y de conejo, recolectado de la granja que tiene la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi, ubicada en Parcela 7, Tres Cabezas, Sector La Perla, Chimbote-Ancash.

**Tabla N° 14.- Análisis a las muestras del estiércol de Cuy y de Conejo.**

Parámetros	Unidades	CUY	CONEJO
Humedad	%	8.03	8.25
Nitrógeno	%	2.12	1.9
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	1.85	1.36
Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	1.67	1.12
Carbono	%	0.105	0.060
Poder Calorífico	Cal/Kg	6328	6985
C/N		14	13

Fuente: LASACI – UNT

El substrato preparado para iniciar el proceso de fermentación, dentro del biodigestor tienen las siguientes características:

- Relación C/N..... 14
- Valor pH..... 7
- Presión..... 1 atm, 1.013 bar.
- Relación de mezcla con agua..... 1:3

**A.- Cálculo de la cantidad total de estiércol (Md TOTAL)**

Para el cálculo de la cantidad total de estiércol, se tiene en consideración la cantidad de animales que poseemos en la granja de la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi.

**Tabla N° 15.- Cantidad de estiércol por animal**

Tipo de especie	Cantidad de estiércol (Kg-est/ día)
Cuy	0.14
Conejo	0.12

Fuente: Elaboración propia.

La Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi cuenta en su granja con una cantidad aproximada de 40 cuyes y 35 conejos.

- Se calcula cantidad de estiércol que produce los cuyes, utilizando la tabla N° 13.

$$Md_{T.CUY} = N * Md$$

$$Md_{T.CUY} = 40 * 0.14 \text{ Kg -est/ día}$$

$$Md_{T.CUY} = 5.6 \text{ Kg-est/ día}$$

Donde:

N = Cantidad de animales, que proporcionan estiércol.

Md = Cantidad de estiércol que produce cada animal.

- Se calcula cantidad de estiércol que produce los conejos, utilizando la tabla N° 13.

$$\mathbf{Md_{T.CONEJO} = N * Md}$$

$$\mathbf{Md_{T.CONEJO} = 35 * 0.12 \text{ Kg -est/ día}}$$

$$\mathbf{Md_{T.CONEJO} = 4.2 \text{ Kg -est / día}}$$

Donde:

N = Cantidad de animales, que proporcionan estiércol.

Md = Cantidad de estiércol que produce cada animal.

Por lo tanto:

$$\mathbf{Md_{TOTAL} = Md_{T.CUY} + Md_{T.CONEJO}}$$

$$\mathbf{Md_{TOTAL} = 5.6 \text{ Kg -est / día} + 4.2 \text{ Kg -est / día}}$$

$$\mathbf{Md_{TOTAL} = 9.8 \text{ Kg -est / día}}$$

#### **B.- Cantidad de Mezcla (Sd).**

Para la mezcla de estiércol de cuy, de conejo y de agua se considero realizarla en una proporción de 1:3, mezcla se usara por 1Kg de estiércol se utilizara 3 Kg de agua, teniendo como base los antecedentes de ya realizados y as u vez realizando la verificación de dilución del estiércol en su plenitud, teniendo en cuenta que el estiércol de cuy y de conejo tiene un bajo porcentaje de humedad. El agua que se utilizó para la mezcla es proveniente del subsuelo, La Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi, utiliza agua subterránea para el uso de todos sus servicios.

La cantidad de mezcla se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Sd = (1 + m) * Md_{TOTAL}$$

$$Sd = (9.8 * 3) \text{ Kg - agua/ día} + 9.8 \text{ Kg - est/ día}$$

$$Sd = 39.2 \text{ Kg - mezcla/ día}$$

#### 4.2.- Calculo del Volumen del Biodigestor (Vd).

Para desarrollar el cálculo del volumen del Biodigestor, se considero un tiempo de retención hidráulica ( $\Theta$ ) según la Tabla N° 06 y también la cantidad de mezcla introducido (Sd), así tenemos que.

$$Vd = (\Theta * Sd) / 1000$$

$$Vd = 1.568 \text{ m}^3$$

Donde:

Sd: Cantidad total de mezcla = 39.2 Kg mezcla/día

$\Theta$  : Tiempo de retención = 40 días

#### 4.3.- Calculo de la Producción de Biogás por día

##### A. Producción de Biogás por día (G).

Para el calculo de la producción de Biogás en el Biodigestor, se tomo como consideración los antecedentes, que determinan la productividad de Biogás con relación a la cantidad de estiércol (Y), la cual es de 0.03 m<sup>3</sup> de Biogás/ Kg -est.

$$G = Md_{TOTAL} * Y$$

$$G = 9.8 \text{ Kg -est / día} * 0.03 \text{ m}^3 \text{ de Biogás / Kg- est.}$$

$$G = 0.294 \text{ m}^3 \text{ de Biogás / día}$$

Se debe añadir un margen de seguridad que este entre 5 al 10 %, de la cual se considero un margen del 10%.

$$Gt = G + (G * F)$$

$$Gt = 0.294 + (0.294 * 0.1)$$

$$Gt = 0.3234 \text{ m}^3 \text{ de Biogás / día}$$

#### 4.4- Calculo Diseño Biodigestor tipo Chino

Sabiendo el volumen de la mezcla del Biodigestor (1.568 m<sup>3</sup>), calcularemos el diseño y dimensiones de todas sus partes, para obtener un diseño final.

Definido el Volumen Total Requerido, nos ayudara a calcular el radio base, de la Figura N° 17.

$$R = \sqrt[3]{\frac{V d}{\pi * 1.121}}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{1.568}{\pi * 1.121}}$$

$$R = 0.77 \approx 0.8$$

Entonces:

$$U = R / 4$$

$$U = 0.8 / 4$$

$$U = 0.2$$

Donde

U: Valor de unidad que realiza el dimensionamiento proporcional del resto de los elementos geométricos.

#### 4.4.1.- Calculo de la Campana

Se tomara en cuenta para el desarrollo de los cálculos de altura de campana y del volumen de campana, el valor de U (unidad). Se considera como referencia la figura N°17.

##### A. Altura de Campana (hc)

Se define la altura de campana de la siguiente manera, utilizando la ecuación N°08

$$hc = U * 2$$

$$hc = 0.2 * 2$$

$$hc = 0.4m$$

##### B. Volumen de parcial de la campana(V<sub>2</sub>)

Para definir el volumen parcial de la campana, tenemos que calcular primero el radio de la cúpula (Rc) de la siguiente manera, utilizando la ecuacion N° 09:

$$Rc = 6 * U$$

$$Rc = 6 * 0.2$$

$$Rc = 1.2 m$$

Donde:

$$V_2 = h_c^2 * \pi * (Rc - (hc / 3))$$

$$V_2 = (0.4)^2 * \pi * (1.2 - (0.4/3))$$

$$V_2 = 0.54 m^3$$

#### 4.4.2.- Calculo del cono base

Se tomara en cuenta para el cálculo de altura de la base cónica y del volumen del cono base, el diámetro (D), correspondiente a la figura N°17, utilizando la ecuación N° 13.

##### A. Altura del cono de base (ht).

Si:

$$D = 8 * U$$

$$D = 8 * 0.2$$

$$D = 1.6 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura del cono base será:

$$ht = 0.15 * D$$

$$ht = 0.15 * 1.6$$

$$ht = 0.24 \text{ m}$$

##### B. Volumen parcial de la base ( $V_3$ )

$$V_3 = R^2 * \pi * (ht / 3)$$

$$V_3 = (0.8)^2 * \pi * (0.24 / 3)$$

$$V_3 = 0.16 \text{ m}^3$$

#### 4.4.3.- Calculo de la pared del Biodigestor

Calculamos el valor de la altura requerida para el volumen parcial que contendrá el sustrato a introducir al biodigestor

##### A. Calculo de la altura de la pared (hp)

$$V_1 = R^2 * hp * \pi$$

$$1.569 = (0.8)^2 * hp * \pi$$

$$hp = 0.95 \approx 1m$$

Calculo global de los volúmenes.

$$\text{Volumen Total} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\text{Volumen Total} = 1.57 \text{ m}^3 + 0.54 \text{ m}^3 + 0.16 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Total} = 2.27 \text{ m}^3$$

## V.- COSTOS, CONSTRUCCION Y PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR

### 5.1 - Evaluación Económica

Uno de los aspectos de vital importancia para que se establezca un proceso es su viabilidad económica, por lo cual se realizó la cotización en diversas tiendas de la ciudad de Chimbote. Obteniendo los precios que fueron más accesibles a nuestra economía.

Entre los factores preponderantes que se deben contemplar es la inversión inicial, para ello, se contemplan los aspectos siguientes.

- Materiales e Instrumentos auxiliares.

Para el desarrollo de las pruebas, es necesario contar con el equipo y material que se detalla continuación, con su costo respectivo.

**Tabla N° 16.- Costo de Materiales e Instrumentos auxiliares**

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL / INSTRUMENTO</b>	<b>COSTO</b>
01	Termómetro digital	S/ 80.00
01	Multitester	S/ 40.00
02	Termocupla	S/ 18.00
01	Caja de tiras indicadoras de pH	S/ 40.00
02	Pares de guantes de hule	S/ 20.00
	<b>TOTAL</b>	<b>S/ 198.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Mano de Obra

Para la construcción del Biodigestor es necesario emplear la mano de obra calificada que se detalla en la siguiente tabla, con su costo respectivo.

**Tabla N° 17.- Costo de Mano de Obra**

<b>CANTIDAD</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>COSTO</b>
01	Maestro Albañil	S/ 400.00
02	Ayudantes	S/ 350.00
	<b>TOTAL</b>	<b>S/ 750.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Servicios Análisis

Para el desarrollo de las pruebas, es necesario contar con el equipo y material que se detalla continuación, con su costo respectivo.

**Tabla N° 18.- Costo de Servicio de Análisis**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>COSTO</b>
Estiércol (Cuy y Conejo)	S/160.00
Biol	S/ 60.00
Biogás	S/100
<b>TOTAL</b>	<b>S/320.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Construcción del Biodigestor tipo Chino.

**Tabla N° 19.- Materiales para la construcción del Biodigestor tipo Chino**

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO
Piedra chancada de construcción (m3)	0.5	S/.60.00	S/.30.00
Arena gruesa (m3)	0.3	S/.36.00	S/.10.80
Cemento extraforte (bolsas de 42.5 Kg)	12	S/.21.00	S/.252.00
Cemento antisalitre (bolsas de 42.5 Kg)	2	S/.22.00	S/.44.00
Impermiabilizante Sika (galón)	1	S/.23.00	S/.23.00
Varillas de fierro 1/4" x 9 m (und)	6	S/.14.00	S/.84.00
Varillas de fierro 3/8" x 9 m (und)	12	S/.16.00	S/.192.00
Listones de madera 0.9 x 0.25 (und)	12	S/.2.00	S/.24.00
Triplay 41.2 x 2.4 x 4mm (plancha)	2	S/.30.00	S/.60.00
Alambre de construcción N°16 (Kg)	3	S/.4.00	S/.12.00
Clavos de 3" (Kg)	0.5	S/.4.00	S/.2.00
Tubería de PVC desagüe 4" x 3 (und)	1.5	S/.18.00	S/.27.00
Tubería de PVC agua 1/2" x 5 (und)	5	S/.5.00	S/.25.00
Reductor de 2" a 1/2" PVC (und)	2	S/.3.50	S/.7.00
Codo 1/2" PVC (und)	2	S/.0.50	S/.1.00
Unión 1/2" PVC (und)	1	S/.0.50	S/.0.50
Y de 2" PVC (und)	1	S/.7.50	S/.7.50
Tapón PVC agua 2" (und)	1	S/.1.00	S/.1.00
Cinta teflón (und)	3	S/.0.80	S/.2.40
Pegamento PVC (pote)	1	S/.11.00	S/.11.00
Formador de empaquetadura (und)	1	S/.6.50	S/.6.50
Tubo de Acero inoxidable 1/2" x 5m (und)	1	S/.125.00	S/.125.00
Niple 1/2" Inox (und)	8	S/.8.00	S/.64.00
Válvulas 1/2" Inox (und)	3	S/.25.00	S/.75.00
Codo 1/2" x 90° Inox (und)	2	S/.6.00	S/.12.00
Unión simple 1/2" Inox (und)	2	S/.6.00	S/.12.00
Unión universal 1/2" Inox (und)	1	S/.15.00	S/.15.00
Niple doble rosca 1/2" Inox (und)	1	S/.2.50	S/.2.50
Unión rosca 1/2" x 1" Inox (und)	1	S/.2.50	S/.2.50
Varilla de soldadura Inox 1/16 (und)	12	S/.1.00	S/.12.00
Moldimix (und)	1	S/.7.00	S/.7.00
<b>SUBTOTAL (S/.)</b>			<b>1149.70</b>
<b>IMPREVISTOS (S/.)</b>			<b>114.97</b>
<b>TOTAL (S/.)</b>			<b>1264.67</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Costo Total

La inversión inicial para este tipo de equipos, se detalla en la siguiente tabla

**Tabla N° 20.- Costo Total del Biodigestor**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO</b>
Construcción del Biodigestor	S/ 1267.67
Servicio de análisis	S/ 320.00
Mano de Obra	S/ 750.00
Materiales e Instrumentos auxiliares	S/ 198 .00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 2532.67</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

## 5.2 - Construcción del Biodigestor

El sistema propuesto para la obtención del Biogás (Gas combustible) y el Biol (Abono orgánico), en un proceso semicontinuo de fermentación anaeróbico, es el Biodigestor tipo Chino (Cúpula fija). Con el fin de aprovechar mejor el estiércol producido por los cuyes y conejos, en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi.

El Biodigestor conformado con una cámara de Digestión, tanque de carga y tanque de descarga, se construyo todo con concreto armado incluyendo la cúpula a fin de resistir la presión del biogás que allí se genera.

Para una mejor ilustración, la construcción del Biodigestor tipo Chino se establece en las siguientes imágenes, que se muestran a continuación.

Reconocimiento del lugar a desarrollarse el proyecto de construcción del Biodigestor Tipo Chino. (Ver Anexo II, fotografía N°01)

Reconocimiento del lugar a desarrollarse el proyecto de construcción del Biodigestor Tipo Chino.

Se procede a desarrollar la construcción teniendo en consideración los datos ya calculados para su aplicación.

Se diseñó el armado de la malla de fierro para la base, a su vez esta estructura de fierro será el armazón de Biodigestor. Para el cálculo de las distancias entre varillas de fierro para la base se utilizó el programa AutoCad, teniendo una distancia de 20 cm. (Ver Anexo II, fotografía N°02)

Para el armado de la malla se utilizó: varillas de fierro de 1/4" y de 3/8"; además de alambre de construcción. (Ver Anexo II, fotografía N°03)

Las varillas de fierro de 3/8" se utilizaron para la base y la altura. La varilla de 1/4" se utilizó para el contorno de la estructura teniendo un espacio de separación de 30 cm; asegurándolo en cada unión con alambre de construcción. (Ver Anexo II, fotografía N°04)

Se cavó el pozo de forma cilíndrica en donde se colocará el armazón, para la construcción del Biodigestor. Teniendo una profundidad de 1.7m y un diámetro de 2.1m (Ver Anexo II, fotografía N°05)

Se hizo un enzolado al contorno de la fosa y posteriormente se colocó la estructura de Fierro (armazón). (Ver Anexo II, fotografía N°06)

Se armó el molde con triplay y madera, para realizar el encofrado (Ver Anexo II, fotografía N°07)

Se colocó en la base de la fosa y en la parte externa muertos de madera, para soportar la presión de la mezcla de cemento, piedra y arena. (Ver Anexo II, fotografía N°08)

Se procedió al vaciado de la mezcla, para la construcción de la pared del biodigestor, que tiene un espesor de 10cm., para que sea un vaciado homogéneo, se utilizó un palo para el chuseo. (Ver Anexo II, fotografía N°11)

Se procedió a la construcción del tanque de carga. (Ver Anexo II, fotografía N°13)

Se procedió a la construcción del tanque de descarga. (Ver Anexo II, fotografía N°14)

Se armó una estructura de madera para construir la cúpula del Biodigestor, (Ver Anexo II, fotografía N°16)

Armado del encofrado para la construcción de la cúpula del Biodigestor (Ver Anexo II, fotografía N°18)

Para la construcción de la cúpula del Biodigestor, se realiza el vaciado de mezcla, para darle mayor seguridad. (Ver Anexo II, fotografía N°19)

Finalizado la construcción de la cúpula, se procedió a construir la base de la tapa del Biodigestor. (Ver Anexo II, fotografía N°21)

Se procedió a realizar las conexiones de tuberías y accesorios para el transporte del Biogás. (Ver Anexo II, fotografía N°23)

### 5.3 - Puesta en Marcha

Para poder comenzar la puesta en marcha, se tiene que tener las siguientes consideraciones:

- Se utilizó estiércol de cuy y de conejo, la cual la obtuvimos de la granja de la Institución Educativa Particular Bereshi, para la preparación de la mezcla. (Ver Anexo II, fotografía N°24 )
- Se efectuó el vaciado del estiércol en un cilindro, para poder identificar objetos extraño, que podrían dañar el Biodigestor. (Ver Anexo II, fotografía N°26)
- Para efectuar el llenado al biodigestor se realizó la mezcla en relación de 3 lt de agua por kilogramo (Kg) de estiércol. (Ver Anexo II, fotografía N°27)
- Además se agregó un iniciador (rumen de vaca más agua). Como el estiércol de cuy y de conejo no contiene bacterias metanogénicas que inicien el proceso de fermentación, se hace necesario añadir el inicializador, esta composición garantiza que la relación C/N este dentro del óptimo. (Ver Anexo II, fotografía N°28, 29)

- Comprobación del pH de la mezcla, antes de ingresar la mezcla al Biodigestor. (Ver Anexo II, fotografía N°30)
- El llenado de la mezcla al Biodigestor, se tuvo que utilizar un mortero, para poder moler el estiércol, que aun quedaba entero. (Ver Anexo II, fotografía N°31)

## VI.- RESULTADOS Y ANALISIS

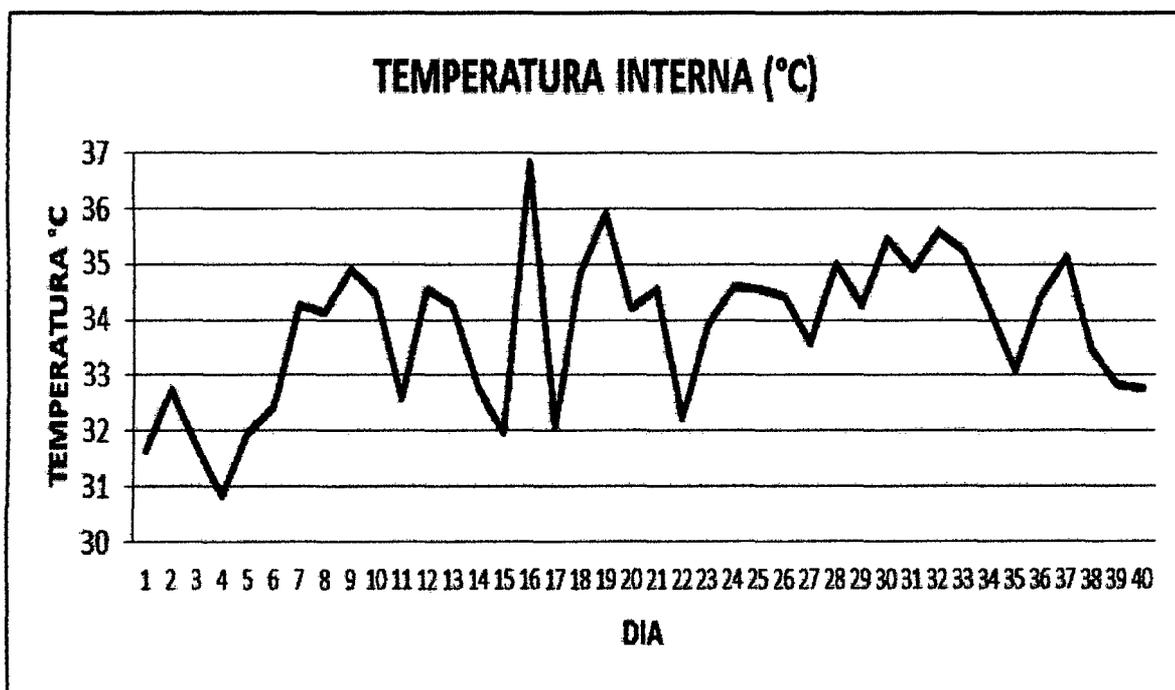
### 6.1.- Resultados de los parámetros de campo.

A continuación se muestran los valores de campo obtenidos de la medición de pH, Temperatura Ambiental y Temperatura interna.

DIA N°	T. Ambiental (°C)	T. Interna(°C)	pH
1	27	31.64	7
2	27.55	32.73	7
3	26.77	31.73	6
4	26.23	30.82	6
5	27	31.95	6
6	28.14	32.41	6
7	29.41	34.27	6.5
8	29.09	34.14	7.5
9	28.82	34.91	7.5
10	28.32	34.45	7
11	28.55	32.59	7
12	28.59	34.55	6
13	28.27	34.27	6
14	27.14	32.77	6
15	27.73	31.95	7
16	27.95	36.82	6
17	28.5	32.05	6
18	28.32	34.86	6
19	27.91	35.91	6
20	27.64	34.18	6
21	26.95	34.55	6
22	27.27	32.23	6
23	27.32	33.91	7
24	27.23	34.59	7
25	27.77	34.55	7
26	27.18	34.41	7
27	27.59	33.59	7
28	27.23	35	6
29	26.77	34.27	6
30	27.55	35.45	6
31	26.86	34.91	6
32	28.05	35.59	7
33	27.09	35.23	7
34	27.14	34.18	7
35	27.45	33.09	7
36	27.64	34.41	7
37	27.41	35.14	7.5
38	27.5	33.45	7.5
39	27.32	32.82	7

Como se puede observar, el grafico donde se observa el comportamiento de la temperatura interna en el biodigestor, podemos observar, que en el día numero 16 se observa que se obtuvo un pico de temperatura de 36.82°C, y tuvo un mínimo el día numero 4 donde se obtuvo una temperatura de 30.82

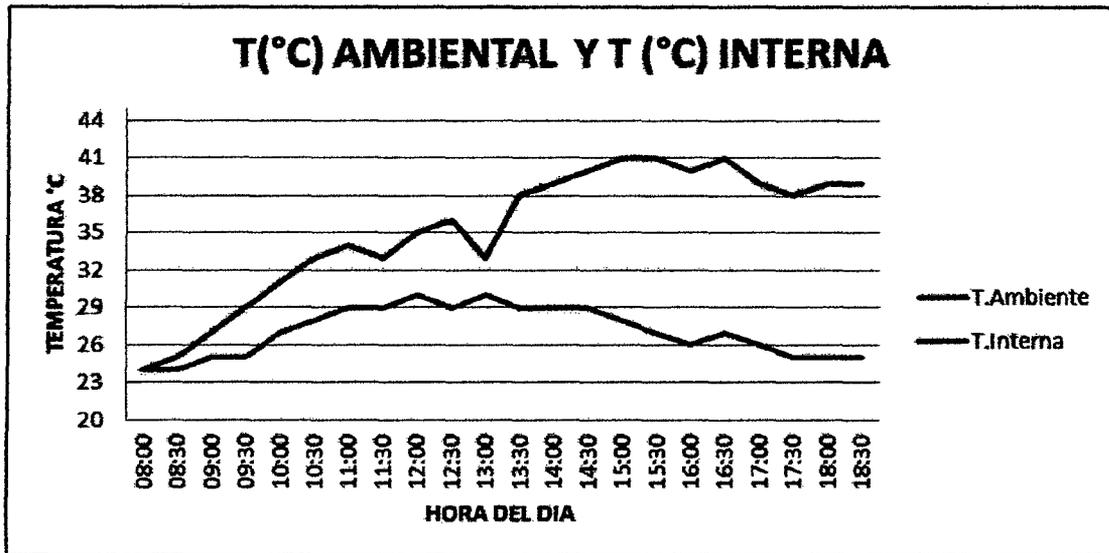
**Grafico N°05: Comportamiento de la temperatura en el interior del biodigestor con respecto a los días de biodigestión**



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el siguiente gráfico se consideró el día de máxima temperatura interna. En donde también se observa el comportamiento de la temperatura del ambiente y la temperatura interna en el biodigestor, podemos observar, que durante día la temperatura interna aumenta en la relación de la temperatura ambiente, teniendo como punto máximo a las 15:30 horas, se observa que se obtuvo un pico de temperatura interna de 41°C y una temperatura ambiental de 27°C.

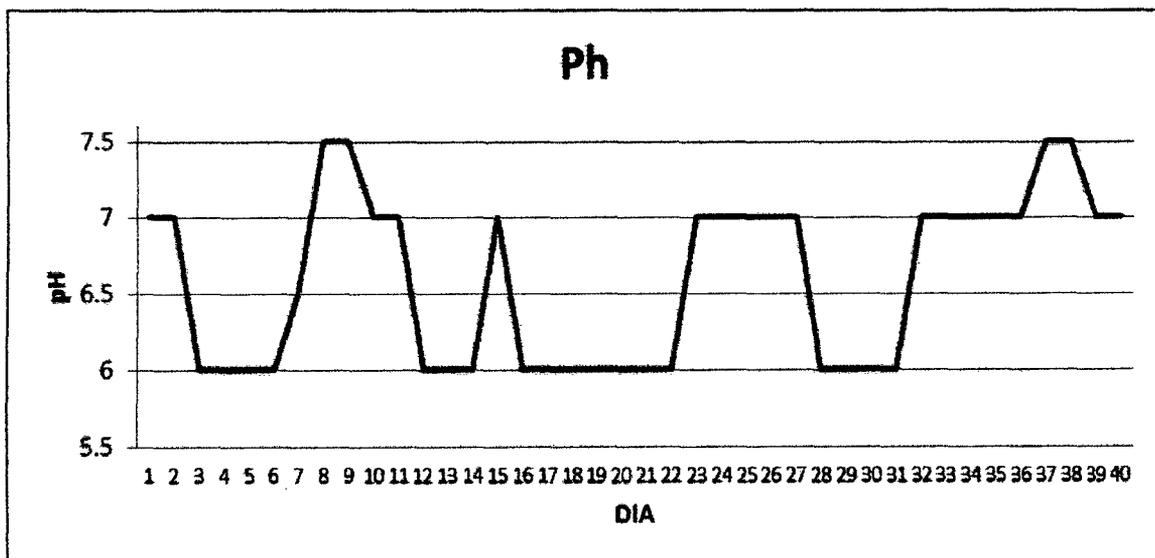
**Grafico N°06: Comportamiento de la temperatura en el interior del biodigestor y la temperatura ambiental, durante el día.**



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente grafico se muestra el comportamiento del pH con respecto al proceso dentro del biodigestor, considerando que es una variable constante durante el proceso, teniendo un registro máximo de 7.5pH y una mínima de 6 pH.

**Grafico N°07: Comportamiento del pH, con respecto a los días de biodigestion**



Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan los valores de los Nutrientes, que contiene el Biol y como se aprecia en el cuadro los valores de pH del Biol se encuentra dentro de los rangos establecidos para la biodigestion anaeróbica.

**Tabla N° 21.- Parámetro de análisis de fertilidad del Biol**

<b>Parámetros</b>	<b>Biol</b>
<b>pH</b>	7.27
<b>C.E. dS/m.</b>	3.68
<b>% N</b>	1.43
<b>Pppm.</b>	44
<b>Kppm.</b>	266

**Fuente:** LASACI

## VII.- DISCUSIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1.- Discusiones.

De los resultados obtenidos, durante el proceso de construcción y evaluación del Biodigestor tipo Chino, con respecto a otros proyectos desarrollados.

- En los primeros 18 días de fermentación se obtuvo gas no combustible, con respecto a otros procesos de biodigestión (siendo los 7 primeros días), esto se debe al estiércol utilizado en cada proceso, teniendo como base el estiércol de cerdo.
- Se logró homogenizar la granulometría del estiércol antes del mezclado, siendo para ello importante para el proceso, debido a la poca humedad que contiene el estiércol de cuy y de conejo, con respecto al de otros animales.
- Se obtuvo un rango importante de concentración de metano del 55%, teniendo como en consideración que el estiércol de cuy y de conejo, no es muy utilizado en este tipo de proceso de biodigestión.
- Al inicio del proceso se encontraba con un valor pH de 7. A dos días después de la fermentación el pH bajo a 6 (acidez), conforme paso los días, el proceso se fue regulando y se mantuvo el rango requerido (7- 6.5). En una ocasión se tuvo que agregar agua mas cal, para poder elevar el pH y restablecer el equilibrio.

## 7.2.- Conclusiones.

- Se realizó el diseño y construcción de un biodigestor semicontinuo tipo chino de una capacidad de 2.27 m<sup>3</sup>. Construido de concreto armado, teniendo :

ZONA	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	ALTURA (m)
Campana	0.54	0.4
Pared	1.569	1
Base cónica	0.16	0.24

- En la construcción se utilizó un impermeabilizante (SIKA), para que el biodigestor no sufra ninguna filtración. Dado el clima, la temperatura de ambiente y el lugar de la zona, no se utilizó un aislamiento.
- Se evaluó los parámetros para producción del Biogás. Los cuales detallamos a continuación:
  - El parámetro de C/N es de 25, esta composición garantiza que la relación C/N este dentro del óptimo (C/N: 25-30).
  - La temperatura de fermentación como promedio fue de 34°C, permitiendo el desarrollo de la biodigestión.
  - Se obtuvo un valor promedio para el pH de 7, dentro del proceso.

- Los parámetros adecuados para el desarrollo del proceso de la fermentación anaeróbica en un Biodigestor tipo chino utilizando estiércol de cuy y de conejo. Serían los siguientes, considerando siempre la zona de trabajo, siendo esta Chimbote a una temperatura ambiente en el rango de ( 22-24°C):

PARAMETROS	DESCRIPCION
C /N	Rango 24 – 28
Temperatura Fermentación	Rango 31-35 °C
pH	Rango 6.5 – 7

- Se obtuvo Biogás, con una producción total de 6m<sup>3</sup>, con una velocidad de producción de 0.194 m<sup>3</sup>/día y una concentración de metano del 55% dentro de la composición del biogás.

### 7.3.- Recomendaciones.

Considerando los resultados obtenidos durante el proyecto de investigación, se pueden establecer las recomendaciones siguientes:

- Antes de realizar la mezcla del estiércol con agua, verificar los materiales contenidos en el estiércol, por que muchas veces estos se recogen del suelo y pueden contener piedras, clavos, papel, plástico y otros productos que no son degradables; y tratan muchas veces de atorar la tubería.
- El mezclado se realizo no en el tanque de entrada, sino en un deposito aparte, para no dejar que ingrese tierra proveniente del estiércol, ya que esta se almaceno en el tanque antes de ingresar la mezcla. De esta manera se trata de ingresar limpia la mezcla.
- Considerar la relación C/N del substrato a ser cargado, para determinar la relación adecuada de carga. El exceso de nitrógeno inhibe la actividad de los microorganismos metanogénicos, lo que se evidenció con los datos del pH.
- Concientizar al beneficiario de la importancia del pre tratamiento, ya que es importante que ellos manejen claro este concepto para el éxito y buen funcionamiento del biodigestor.
- Utilizar guantes quirúrgicos al momento de manipular las excretas, para evitar en lo posible algún tipo de contaminación.
- Utilizar las relaciones de carga planteadas para evitar en lo posible perdidas de nutrientes y biogás.

- Al momento del llenado, dejar abierta la llave de purga para que escape el aire contenido dentro del biodigestor.
- El Biol obtenido al final del proceso anaeróbico es un fertilizante natural, el cual podemos utilizarlo, para las plantas y cultivos. Por las propiedades químicas que contiene el Biol, se debe realizar una mezcla con agua de tal manera que por cada litro de Biol se mezcle con 2 lt de agua, para posteriormente su riego.

## VIII.- BIBLIOGRAFIA

1. **APARCANA, S. (2005)** *Estudio Sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "fermentación anaeróbica" para producción de biogás.* Editorial Pearson Prentice hall. 2<sup>da</sup> Edición - España
2. **GTZ. (2008).** *Biodigestores familiares guía, diseño y manual de instalación.* Editorial Creative Commons. 1<sup>ra</sup> Edición - Bolivia
3. **GUARDADO, A. Y VARGAS, D. (2008).** *Apuntes sobre el biogás como fuente de energía, taller demostrativo - Chile.*
4. **HIVOS, SNV Y SOLUCIONES PRÁCTICAS. (2013).** *"Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú".* Editorial Continental. 2<sup>da</sup> Edición - Perú
5. **KOSSMANN, W. (2008).** *Biogas – Application and Product Development.* Editorial Eschborn, GTZ. 2<sup>da</sup> Edición – Canadá.
6. **LLIROD, M. (1995).** *"Producción de Biogás y Bioabono a partir de Desechos Sólidos en el Camal Yugofrio de Trujillo".* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Trujillo- Perú.
7. **MARTÍ, J. (2008).** *Bolivia "Guía de diseño y manual de instalación de Biodigestores familiares".* Editorial Creative Commons. 1<sup>ra</sup> Edición Bolivia
8. **RIVERA, M. (2011).** *"Efecto de un bio protector comercial en la reducción de pH y carga microbiana putrefactiva en efluentes porcinos".* Editorial Creative Commons. 2<sup>da</sup> Edición Bolivia
9. **RUIZ, A. (2010).** *"Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestion y manejo integral de residuos sólidos y líquidos,"* Editorial Creative Commons. 3<sup>ra</sup> Edición - Perú.
10. **SÁNCHEZ P. (2006).** *"La Biomasa y la Energía".* Editorial Paraninfo. 2<sup>da</sup> Edición - México

11. SVETLANA S, BUESO C, Y VIQUEZ J. (2012). *“Guía implementación de sistemas de biodigestión en eco empresas”*. Editorial SNV. 1<sup>ra</sup> Edición - Honduras

12. VEGA, F. (2010). *“Variación de la densidad poblacional de indicadores de contaminación fecal en el Biol y Biosol de biodigestores de estiércol de cuy (cavia porcellus) Acopampa Carhuaz Ancash.”*. (Tesis Maestría). UNASAM - Perú

# **ANEXOS**

**ANEXO I: TABLAS DE DATOS TOMADOS EN CAMPO**

**Tabla N° 01.- Parámetros de Campo 15/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	20	22
08:30	7	20	24
09:00	7	22	25
09:30	7	24	28
10:00	7	25	29
10:30	7	27	29
11:00	7	27	31
11:30	7	30	33
12:00	7	30	33
12:30	7	30	34
13:00	7	31	35
13:30	7	31	35
14:00	7	30	34
14:30	7	30	33
15:00	7	28	32
15:30	7	26	32
16:00	7	28	35
16:30	7	27	34
17:00	7	28	35
17:30	7	26	33
18:00	7	27	36
18:30	7	27	34
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>31.64</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 02.- Parámetros de Campo 16/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	24
09:00	6	25	25
09:30	6	27	30
10:00	6	28	26
10:30	6	30	27
11:00	6	30	31
11:30	6	27	31
12:00	6	30	37
12:30	6	30	39
13:00	6	31	39
13:30	6	30	38
14:00	6	30	35
14:30	6	29	35
15:00	6	28	34
15:30	6	26	32
16:00	6	28	35
16:30	6	27	38
17:00	6	28	37
17:30	6	25	36
18:00	6	25	34
18:30	6	24	33
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.55</b>	<b>32.73</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 03.- Parámetros de Campo 17/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	22	24
08:30	6	24	24
09:00	6	24	25
09:30	6	27	30
10:00	6	28	26
10:30	6	28	27
11:00	6	29	30
11:30	6	30	35
12:00	6	30	37
12:30	6	30	37
13:00	6	31	34
13:30	6	30	33
14:00	6	28	32
14:30	6	28	30
15:00	6	26	28
15:30	6	26	35
16:00	6	27	39
16:30	6	25	37
17:00	6	24	35
17:30	6	24	34
18:00	6	24	33
18:30	6	24	33
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>26.77</b>	<b>31.73</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 04.- Parámetros de Campo 18/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	22	22
08:30	6	22	23
09:00	6	24	25
09:30	6	25	28
10:00	6	25	26
10:30	6	27	28
11:00	6	27	29
11:30	6	28	29
12:00	6	30	37
12:30	6	30	37
13:00	6	31	36
13:30	6	30	36
14:00	6	29	32
14:30	6	27	30
15:00	6	27	30
15:30	6	26	34
16:00	6	25	34
16:30	6	25	32
17:00	6	25	33
17:30	6	24	32
18:00	6	24	33
18:30	6	24	32
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>26.23</b>	<b>30.82</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 05.- Parámetros de Campo 19/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	23	24
08:30	6	22	24
09:00	6	24	25
09:30	6	25	26
10:00	6	26	28
10:30	6	27	30
11:00	6	28	31
11:30	6	28	35
12:00	6	31	37
12:30	6	32	37
13:00	6	32	38
13:30	6	30	37
14:00	6	30	32
14:30	6	28	32
15:00	6	28	33
15:30	6	27	34
16:00	6	27	32
16:30	6	26	32
17:00	6	26	33
17:30	6	25	33
18:00	6	24	34
18:30	6	25	36
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.00</b>	<b>31.95</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 06.- Parámetros de Campo 20/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	26	26
09:30	6	28	28
10:00	6	30	29
10:30	6	31	29
11:00	6	32	32
11:30	6	31	35
12:00	6	32	37
12:30	6	32	37
13:00	6	33	38
13:30	6	30	38
14:00	6	29	35
14:30	6	29	34
15:00	6	28	33
15:30	6	28	33
16:00	6	26	32
16:30	6	26	32
17:00	6	25	33
17:30	6	25	33
18:00	6	25	35
18:30	6	25	35
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>28.14</b>	<b>32.41</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 07.- Parámetros de Campo 21/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6.5	24	24
08:30	6.5	24	25
09:00	6.5	26	26
09:30	6.5	28	28
10:00	6.5	30	29
10:30	6.5	28	31
11:00	6.5	30	34
11:30	6.5	31	35
12:00	6.5	33	37
12:30	6.5	33	38
13:00	6.5	32	42
13:30	6.5	34	39
14:00	6.5	34	38
14:30	6.5	32	38
15:00	6.5	32	38
15:30	6.5	32	37
16:00	6.5	30	37
16:30	6.5	28	36
17:00	6.5	28	36
17:30	6.5	27	36
18:00	6.5	26	35
18:30	6.5	25	35
<b>Promedio</b>	<b>6.5</b>	<b>29.41</b>	<b>34.27</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 08.- Parámetros de Campo 22/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7.5	23	24
08:30	7.5	24	26
09:00	7.5	26	26
09:30	7.5	28	27
10:00	7.5	30	29
10:30	7.5	28	33
11:00	7.5	31	35
11:30	7.5	31	37
12:00	7.5	32	40
12:30	7.5	33	42
13:00	7.5	33	40
13:30	7.5	34	38
14:00	7.5	33	38
14:30	7.5	32	38
15:00	7.5	31	37
15:30	7.5	31	36
16:00	7.5	30	36
16:30	7.5	27	35
17:00	7.5	27	34
17:30	7.5	26	33
18:00	7.5	25	33
18:30	7.5	25	34
<b>Promedio</b>	<b>7.5</b>	<b>29.09</b>	<b>34.14</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 09.- Parámetros de Campo 23/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7.5	24	23
08:30	7.5	24	23
09:00	7.5	25	24
09:30	7.5	25	24
10:00	7.5	26	30
10:30	7.5	27	33
11:00	7.5	28	35
11:30	7.5	30	36
12:00	7.5	32	34
12:30	7.5	32	38
13:00	7.5	33	40
13:30	7.5	34	42
14:00	7.5	33	43
14:30	7.5	32	40
15:00	7.5	32	39
15:30	7.5	30	39
16:00	7.5	30	38
16:30	7.5	29	38
17:00	7.5	29	38
17:30	7.5	27	37
18:00	7.5	26	37
18:30	7.5	26	37
<b>Promedio</b>	<b>7.5</b>	<b>28.82</b>	<b>34.91</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 10.- Parámetros de Campo 24/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	23	24
08:30	7	24	25
09:00	7	24	25
09:30	7	26	29
10:00	7	28	30
10:30	7	29	32
11:00	7	30	35
11:30	7	30	37
12:00	7	32	38
12:30	7	32	38
13:00	7	32	39
13:30	7	32	39
14:00	7	31	38
14:30	7	31	38
15:00	7	30	38
15:30	7	30	37
16:00	7	28	37
16:30	7	28	36
17:00	7	27	36
17:30	7	26	36
18:00	7	25	36
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>28.32</b>	<b>34.45</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 11.- Parámetros de Campo 25/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	22
08:30	7	24	23
09:00	7	25	24
09:30	7	26	25
10:00	7	27	29
10:30	7	28	31
11:00	7	28	32
11:30	7	29	32
12:00	7	31	33
12:30	7	31	33
13:00	7	32	35
13:30	7	32	37
14:00	7	33	37
14:30	7	33	38
15:00	7	32	38
15:30	7	30	36
16:00	7	30	36
16:30	7	28	36
17:00	7	27	35
17:30	7	27	35
18:00	7	26	35
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>28.55</b>	<b>32.59</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12.- Parámetros de Campo 26/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	22	23
08:30	6	24	23
09:00	6	24	26
09:30	6	25	28
10:00	6	25	29
10:30	6	26	30
11:00	6	27	33
11:30	6	29	34
12:00	6	32	35
12:30	6	33	36
13:00	6	33	37
13:30	6	33	37
14:00	6	33	38
14:30	6	32	38
15:00	6	32	41
15:30	6	31	42
16:00	6	30	42
16:30	6	30	40
17:00	6	28	38
17:30	6	27	36
18:00	6	27	37
18:30	6	26	37
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>28.59</b>	<b>34.55</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 13.- Parámetros de Campo 27/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	26	26
09:30	6	27	28
10:00	6	28	29
10:30	6	28	31
11:00	6	29	34
11:30	6	28	35
12:00	6	29	37
12:30	6	29	38
13:00	6	30	42
13:30	6	30	39
14:00	6	32	38
14:30	6	32	38
15:00	6	31	38
15:30	6	31	37
16:00	6	30	37
16:30	6	28	36
17:00	6	29	36
17:30	6	26	36
18:00	6	26	35
18:30	6	25	35
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>28.27</b>	<b>34.27</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 14.- Parámetros de Campo 28/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	22	24
08:30	6	24	24
09:00	6	25	26
09:30	6	27	27
10:00	6	29	28
10:30	6	28	29
11:00	6	29	29
11:30	6	30	31
12:00	6	30	33
12:30	6	30	35
13:00	6	31	35
13:30	6	29	34
14:00	6	29	38
14:30	6	29	38
15:00	6	28	38
15:30	6	27	37
16:00	6	26	37
16:30	6	27	36
17:00	6	25	36
17:30	6	24	36
18:00	6	24	35
18:30	6	24	35
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.14</b>	<b>32.77</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 15.- Parámetros de Campo 29/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	23
08:30	7	24	23
09:00	7	25	24
09:30	7	26	25
10:00	7	26	25
10:30	7	26	27
11:00	7	29	30
11:30	7	29	31
12:00	7	30	31
12:30	7	31	32
13:00	7	32	33
13:30	7	30	35
14:00	7	31	36
14:30	7	30	36
15:00	7	29	37
15:30	7	28	37
16:00	7	28	38
16:30	7	28	38
17:00	7	27	37
17:30	7	27	35
18:00	7	25	35
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.73</b>	<b>31.95</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 16.- Parámetros de Campo 30/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	26	26
09:30	6	28	28
10:00	6	30	29
10:30	6	30	33
11:00	6	31	36
11:30	6	32	33
12:00	6	32	38
12:30	6	31	42
13:00	6	31	44
13:30	6	31	44
14:00	6	30	43
14:30	6	29	42
15:00	6	28	41
15:30	6	28	42
16:00	6	26	41
16:30	6	27	41
17:00	6	25	40
17:30	6	24	41
18:00	6	24	39
18:30	6	24	38
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.95</b>	<b>36.82</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 17.- Parámetros de Campo 31/01/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	23	24
08:30	6	24	25
09:00	6	25	28
09:30	6	25	29
10:00	6	26	28
10:30	6	26	29
11:00	6	27	30
11:30	6	28	32
12:00	6	32	34
12:30	6	33	35
13:00	6	33	34
13:30	6	34	35
14:00	6	34	33
14:30	6	32	33
15:00	6	32	34
15:30	6	32	35
16:00	6	29	35
16:30	6	28	35
17:00	6	27	33
17:30	6	27	34
18:00	6	25	35
18:30	6	25	35
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>28.50</b>	<b>32.05</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 18.- Parámetros de Campo 01/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	26	26
09:30	6	28	28
10:00	6	29	33
10:30	6	28	33
11:00	6	30	35
11:30	6	31	37
12:00	6	29	40
12:30	6	31	41
13:00	6	32	42
13:30	6	32	39
14:00	6	30	39
14:30	6	30	38
15:00	6	29	37
15:30	6	29	37
16:00	6	28	37
16:30	6	28	36
17:00	6	27	36
17:30	6	27	35
18:00	6	26	35
18:30	6	25	34
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>28.32</b>	<b>34.86</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 19.- Parámetros de Campo 02/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	23	24
08:30	6	23	24
09:00	6	24	26
09:30	6	24	28
10:00	6	26	27
10:30	6	28	28
11:00	6	30	29
11:30	6	28	32
12:00	6	31	33
12:30	6	31	36
13:00	6	32	42
13:30	6	32	43
14:00	6	31	45
14:30	6	30	43
15:00	6	30	44
15:30	6	28	44
16:00	6	29	42
16:30	6	29	42
17:00	6	28	40
17:30	6	26	41
18:00	6	26	39
18:30	6	25	38
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.91</b>	<b>35.91</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 20.- Parámetros de Campo 03/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	25	29
09:30	6	26	30
10:00	6	26	30
10:30	6	26	31
11:00	6	26	34
11:30	6	28	31
12:00	6	29	32
12:30	6	30	34
13:00	6	31	37
13:30	6	31	37
14:00	6	31	39
14:30	6	31	40
15:00	6	30	40
15:30	6	30	37
16:00	6	30	37
16:30	6	28	38
17:00	6	27	37
17:30	6	26	36
18:00	6	25	37
18:30	6	24	37
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.64</b>	<b>34.18</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 21.- Parámetros de Campo 04/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	23	25
08:30	6	24	25
09:00	6	24	26
09:30	6	24	26
10:00	6	25	27
10:30	6	26	29
11:00	6	28	32
11:30	6	29	33
12:00	6	30	33
12:30	6	30	34
13:00	6	31	35
13:30	6	30	37
14:00	6	30	38
14:30	6	29	40
15:00	6	28	41
15:30	6	28	41
16:00	6	27	41
16:30	6	26	40
17:00	6	26	41
17:30	6	25	40
18:00	6	25	38
18:30	6	25	38
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>26.95</b>	<b>34.55</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 22.- Parámetros de Campo 05/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	24	27
09:30	6	25	29
10:00	6	25	29
10:30	6	26	30
11:00	6	27	31
11:30	6	30	34
12:00	6	31	31
12:30	6	31	32
13:00	6	30	33
13:30	6	31	34
14:00	6	30	34
14:30	6	29	35
15:00	6	29	37
15:30	6	29	36
16:00	6	28	35
16:30	6	27	35
17:00	6	26	35
17:30	6	25	34
18:00	6	24	35
18:30	6	25	34
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.27</b>	<b>32.23</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 23.- Parámetros de Campo 06/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	24
09:00	7	25	26
09:30	7	27	27
10:00	7	26	31
10:30	7	27	30
11:00	7	29	33
11:30	7	29	34
12:00	7	30	37
12:30	7	31	37
13:00	7	30	38
13:30	7	30	39
14:00	7	29	38
14:30	7	29	38
15:00	7	28	38
15:30	7	27	37
16:00	7	28	37
16:30	7	26	36
17:00	7	26	36
17:30	7	26	36
18:00	7	25	35
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.32</b>	<b>33.91</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 24.- Parámetros de Campo 07/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	29
09:00	7	25	30
09:30	7	26	30
10:00	7	27	31
10:30	7	31	34
11:00	7	28	31
11:30	7	30	32
12:00	7	30	37
12:30	7	31	38
13:00	7	29	38
13:30	7	28	39
14:00	7	29	39
14:30	7	28	38
15:00	7	28	38
15:30	7	27	37
16:00	7	27	37
16:30	7	26	37
17:00	7	25	36
17:30	7	25	35
18:00	7	26	36
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.23</b>	<b>34.59</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 25.- Parámetros de Campo 08/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	24
09:00	7	26	25
09:30	7	27	26
10:00	7	29	27
10:30	7	28	29
11:00	7	29	31
11:30	7	31	33
12:00	7	31	33
12:30	7	31	35
13:00	7	31	36
13:30	7	30	38
14:00	7	30	40
14:30	7	28	41
15:00	7	29	41
15:30	7	29	41
16:00	7	27	40
16:30	7	26	40
17:00	7	26	39
17:30	7	25	40
18:00	7	25	38
18:30	7	25	39
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.77</b>	<b>34.55</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 26.- Parámetros de Campo 09/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	25
09:00	7	25	26
09:30	7	25	28
10:00	7	27	29
10:30	7	27	31
11:00	7	28	34
11:30	7	30	35
12:00	7	30	37
12:30	7	31	38
13:00	7	31	42
13:30	7	30	41
14:00	7	28	38
14:30	7	30	38
15:00	7	28	38
15:30	7	28	37
16:00	7	27	37
16:30	7	26	36
17:00	7	25	36
17:30	7	25	36
18:00	7	24	36
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.18</b>	<b>34.41</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 27.- Parámetros de Campo 10/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	23	24
08:30	7	23	24
09:00	7	24	25
09:30	7	25	27
10:00	7	27	28
10:30	7	28	29
11:00	7	30	29
11:30	7	31	30
12:00	7	31	33
12:30	7	31	33
13:00	7	31	34
13:30	7	30	37
14:00	7	30	38
14:30	7	31	39
15:00	7	28	39
15:30	7	28	40
16:00	7	29	41
16:30	7	26	39
17:00	7	26	38
17:30	7	25	38
18:00	7	25	37
18:30	7	25	37
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.59</b>	<b>33.59</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 28.- Parámetros de Campo 11/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	24
09:00	6	24	25
09:30	6	25	27
10:00	6	26	29
10:30	6	27	30
11:00	6	27	32
11:30	6	28	34
12:00	6	30	35
12:30	6	30	36
13:00	6	31	37
13:30	6	31	39
14:00	6	30	42
14:30	6	29	42
15:00	6	28	39
15:30	6	29	40
16:00	6	27	41
16:30	6	27	39
17:00	6	27	38
17:30	6	26	39
18:00	6	25	39
18:30	6	24	39
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.23</b>	<b>35.00</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 29.- Parámetros de Campo 12/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	23	24
08:30	6	24	25
09:00	6	24	26
09:30	6	24	28
10:00	6	25	29
10:30	6	25	31
11:00	6	27	34
11:30	6	28	35
12:00	6	31	37
12:30	6	30	38
13:00	6	31	42
13:30	6	29	39
14:00	6	28	38
14:30	6	27	38
15:00	6	27	38
15:30	6	28	37
16:00	6	29	37
16:30	6	27	36
17:00	6	26	36
17:30	6	26	36
18:00	6	25	35
18:30	6	25	35
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>26.77</b>	<b>34.27</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 30.- Parámetros de Campo 13/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	24
09:00	6	24	25
09:30	6	25	26
10:00	6	26	29
10:30	6	28	31
11:00	6	29	34
11:30	6	31	35
12:00	6	31	37
12:30	6	31	38
13:00	6	30	40
13:30	6	29	42
14:00	6	29	43
14:30	6	28	41
15:00	6	29	40
15:30	6	28	39
16:00	6	28	40
16:30	6	28	41
17:00	6	27	39
17:30	6	27	38
18:00	6	26	37
18:30	6	24	37
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>27.55</b>	<b>35.45</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 31.- Parámetros de Campo 14/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	6	24	24
08:30	6	24	25
09:00	6	26	26
09:30	6	26	28
10:00	6	28	30
10:30	6	27	30
11:00	6	28	31
11:30	6	29	32
12:00	6	30	35
12:30	6	30	36
13:00	6	29	36
13:30	6	29	38
14:00	6	27	40
14:30	6	28	40
15:00	6	27	41
15:30	6	26	41
16:00	6	26	40
16:30	6	25	41
17:00	6	26	39
17:30	6	25	39
18:00	6	26	38
18:30	6	25	38
<b>Promedio</b>	<b>6</b>	<b>26.86</b>	<b>34.91</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 32.- Parámetros de Campo 15/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	25
08:30	7	25	27
09:00	7	27	28
09:30	7	28	30
10:00	7	27	31
10:30	7	30	32
11:00	7	31	33
11:30	7	31	34
12:00	7	31	37
12:30	7	30	38
13:00	7	31	39
13:30	7	30	40
14:00	7	30	40
14:30	7	29	41
15:00	7	28	39
15:30	7	27	40
16:00	7	28	39
16:30	7	27	39
17:00	7	26	38
17:30	7	25	37
18:00	7	26	38
18:30	7	26	38
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>28.05</b>	<b>35.59</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 33.- Parámetros de Campo 16/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	25
09:00	7	25	27
09:30	7	25	29
10:00	7	27	31
10:30	7	28	33
11:00	7	29	34
11:30	7	29	33
12:00	7	30	35
12:30	7	29	36
13:00	7	30	33
13:30	7	29	38
14:00	7	29	39
14:30	7	29	40
15:00	7	28	41
15:30	7	27	41
16:00	7	26	40
16:30	7	27	41
17:00	7	26	39
17:30	7	25	38
18:00	7	25	39
18:30	7	25	39
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.09</b>	<b>35.23</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 34.- Parámetros de Campo 17/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	24
09:00	7	24	25
09:30	7	25	27
10:00	7	26	28
10:30	7	26	29
11:00	7	28	29
11:30	7	29	31
12:00	7	31	32
12:30	7	31	33
13:00	7	30	34
13:30	7	30	35
14:00	7	30	41
14:30	7	29	41
15:00	7	28	42
15:30	7	27	42
16:00	7	28	40
16:30	7	26	40
17:00	7	25	39
17:30	7	26	38
18:00	7	25	39
18:30	7	25	39
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.14</b>	<b>34.18</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 35.- Parámetros de Campo 18/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	25
09:00	7	25	26
09:30	7	26	27
10:00	7	26	29
10:30	7	28	28
11:00	7	28	29
11:30	7	30	31
12:00	7	31	31
12:30	7	31	31
13:00	7	31	42
13:30	7	30	39
14:00	7	30	38
14:30	7	29	38
15:00	7	28	38
15:30	7	27	37
16:00	7	27	37
16:30	7	26	36
17:00	7	27	36
17:30	7	26	36
18:00	7	25	35
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.45</b>	<b>33.09</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 36.- Parámetros de Campo 19/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	24	24
08:30	7	24	25
09:00	7	24	26
09:30	7	26	28
10:00	7	27	29
10:30	7	28	31
11:00	7	29	34
11:30	7	30	35
12:00	7	31	37
12:30	7	31	38
13:00	7	30	42
13:30	7	30	39
14:00	7	30	39
14:30	7	29	38
15:00	7	29	38
15:30	7	28	37
16:00	7	29	37
16:30	7	27	37
17:00	7	26	36
17:30	7	26	36
18:00	7	25	36
18:30	7	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.64</b>	<b>34.41</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 37.- Parámetros de Campo 20/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7.5	24	24
08:30	7.5	24	27
09:00	7.5	25	29
09:30	7.5	27	28
10:00	7.5	31	32
10:30	7.5	29	33
11:00	7.5	29	34
11:30	7.5	31	33
12:00	7.5	29	36
12:30	7.5	29	37
13:00	7.5	29	38
13:30	7.5	30	40
14:00	7.5	29	40
14:30	7.5	28	39
15:00	7.5	28	39
15:30	7.5	27	38
16:00	7.5	26	38
16:30	7.5	27	38
17:00	7.5	26	38
17:30	7.5	25	37
18:00	7.5	25	37
18:30	7.5	25	38
<b>Promedio</b>	<b>7.5</b>	<b>27.41</b>	<b>35.14</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 38.- Parámetros de Campo 21/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7.5	24	24
08:30	7.5	24	25
09:00	7.5	25	26
09:30	7.5	26	28
10:00	7.5	26	29
10:30	7.5	27	29
11:00	7.5	28	32
11:30	7.5	29	33
12:00	7.5	30	34
12:30	7.5	31	35
13:00	7.5	31	36
13:30	7.5	30	39
14:00	7.5	30	39
14:30	7.5	28	37
15:00	7.5	29	37
15:30	7.5	29	38
16:00	7.5	28	37
16:30	7.5	27	37
17:00	7.5	26	36
17:30	7.5	26	35
18:00	7.5	26	35
18:30	7.5	25	35
<b>Promedio</b>	<b>7.5</b>	<b>27.50</b>	<b>33.45</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 39.- Parámetros de Campo 22/02/14**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	23	24
08:30	7	23	25
09:00	7	24	26
09:30	7	25	26
10:00	7	25	27
10:30	7	26	27
11:00	7	28	28
11:30	7	31	32
12:00	7	33	34
12:30	7	31	35
13:00	7	31	36
13:30	7	30	38
14:00	7	30	38
14:30	7	29	37
15:00	7	28	37
15:30	7	29	36
16:00	7	28	35
16:30	7	27	35
17:00	7	26	36
17:30	7	25	36
18:00	7	25	37
18:30	7	24	37
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>27.32</b>	<b>32.82</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 40.- Parámetros de Campo 23/02/14**

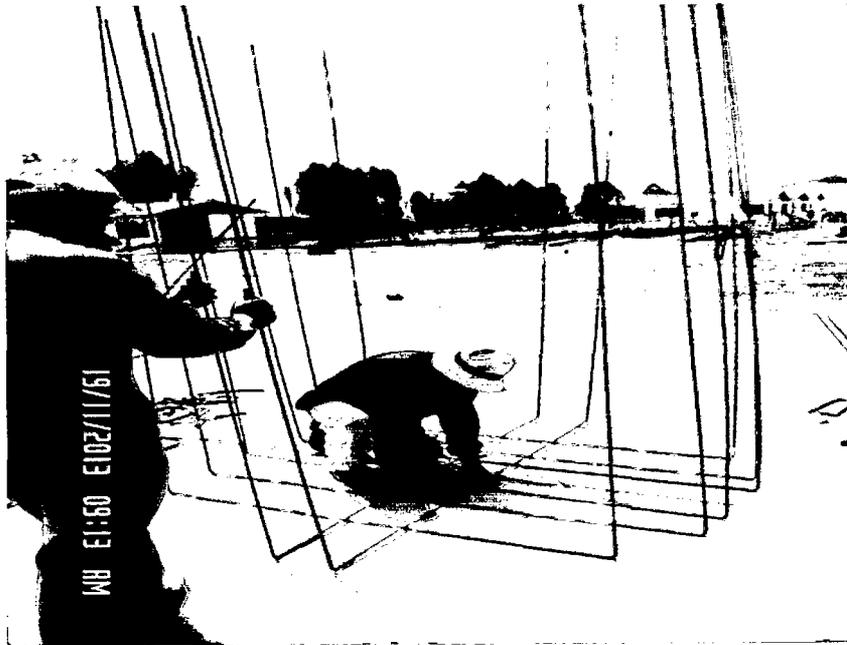
<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>T. Ambiental (°C)</b>	<b>T. Interna (°C)</b>
08:00	7	23	24
08:30	7	23	24
09:00	7	24	25
09:30	7	24	25
10:00	7	27	26
10:30	7	28	25
11:00	7	27	27
11:30	7	29	30
12:00	7	31	31
12:30	7	31	31
13:00	7	30	35
13:30	7	31	35
14:00	7	29	36
14:30	7	29	39
15:00	7	28	41
15:30	7	27	39
16:00	7	26	40
16:30	7	25	39
17:00	7	26	38
17:30	7	25	39
18:00	7	25	35
18:30	7	24	37
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>26.91</b>	<b>32.77</b>

**Fuente: Elaboración propia**

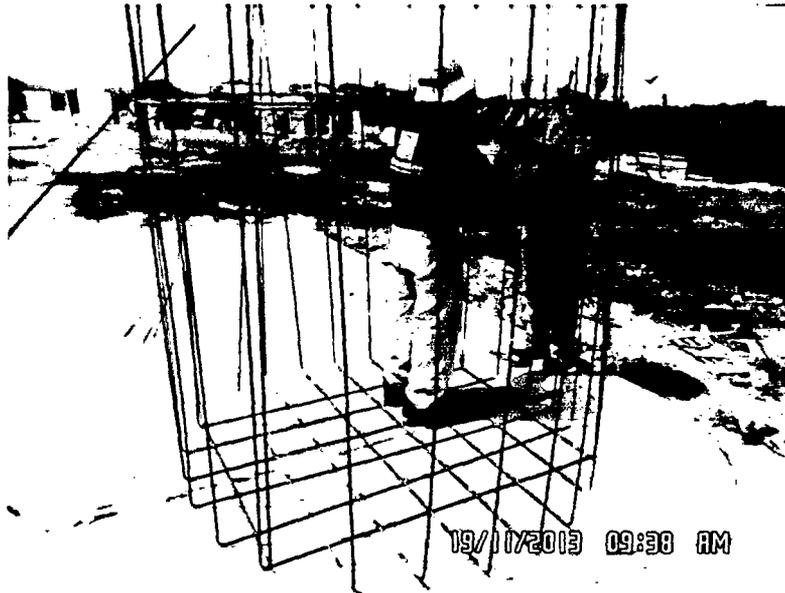
## **ANEXO II: PANEL FOTOGRAFICO**



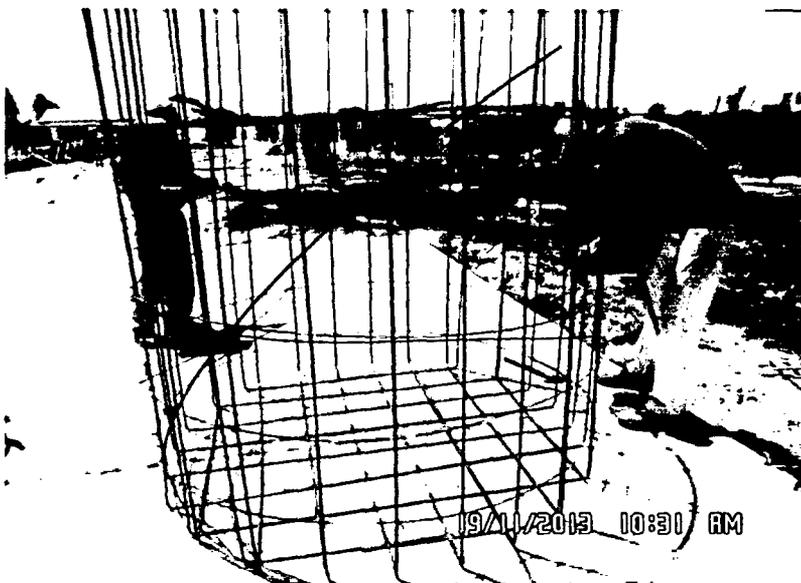
**Fotografía N°01.- Lugar del Proyecto**



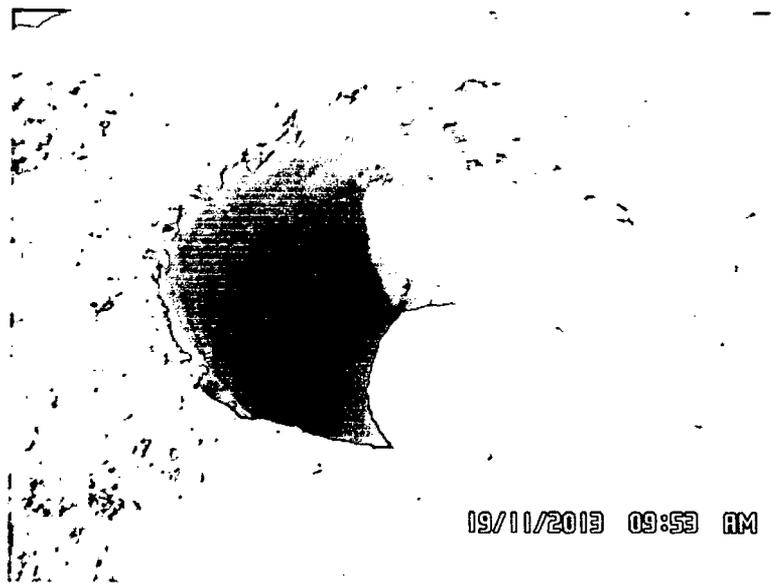
**Fotografía N°02.- Diseño de estructura de Fierro**



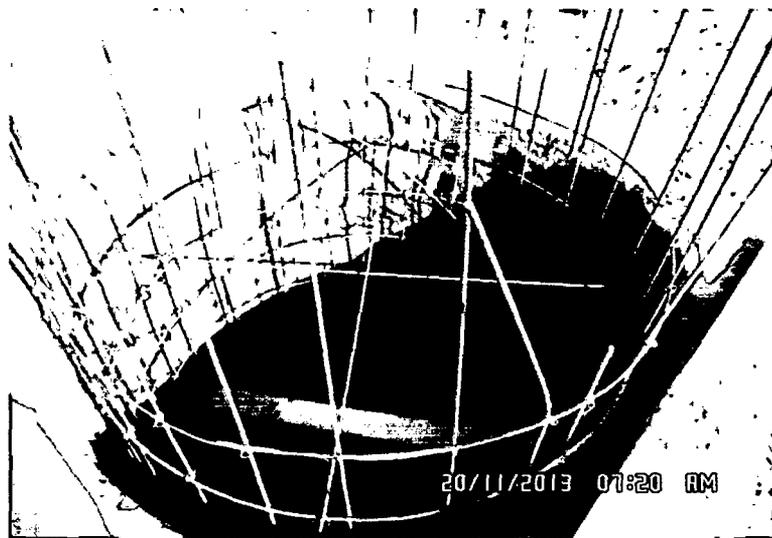
**Fotografía N°03.- Armado de estructura de Fierro**



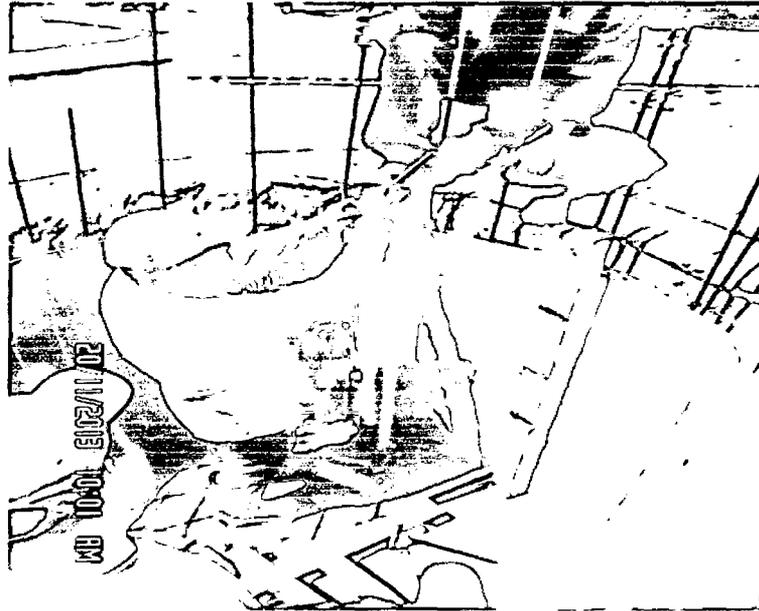
**Fotografía N°04.- Aseguramiento de estructura de Fierro**



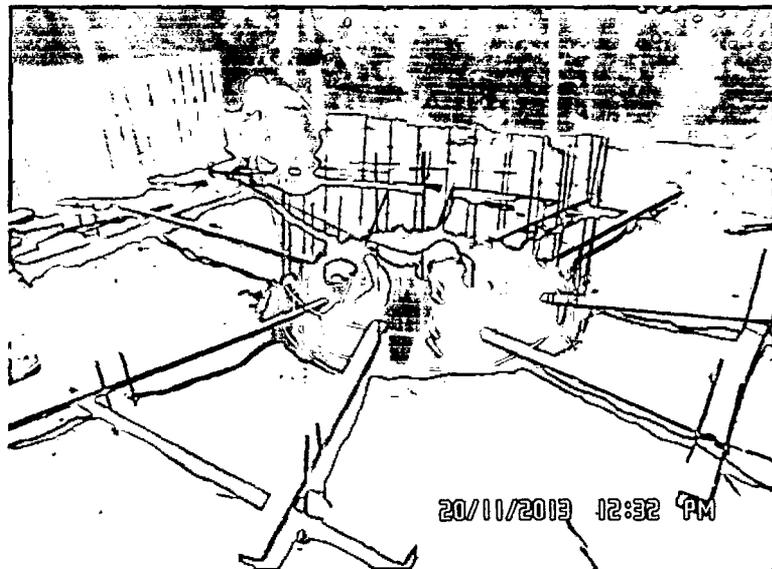
**Fotografía N°05.- Fosa en donde se construirá el bioídgstor.**



**Fotografía N°06.- Colocación de estructura de Fierro en la fosa**



**Fotografía N°07.- Armado encofrado**



**Fotografía N°08.- Colocación de muertos de madera**



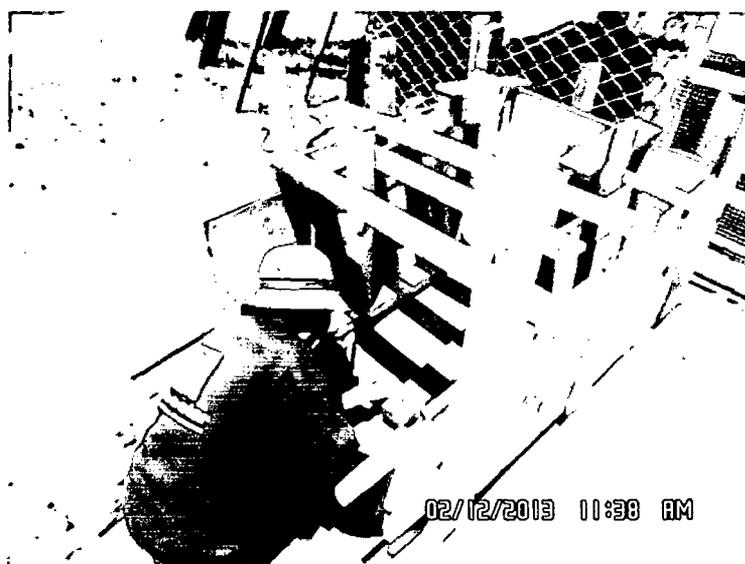
**Fotografía N°09.- Aseguramiento final de muertos de madera, antes del vaciado de mezcla**



**Fotografía N°10.- Vaciado de mezcla.**



**Fotografía N°11.- Final del vaciado.**



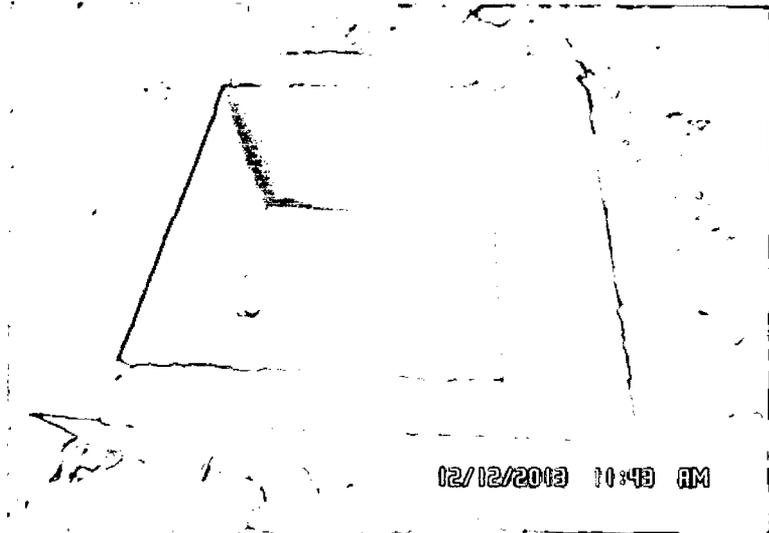
**Fotografía N°12.- Construcción tanque de carga.**



**Fotografía N°13.- Tanque de carga.**



**Fotografía N°14.- Construcción tanque de descarga**



**Fotografía N°15.- Tanque de descarga**



**Fotografía N°16.- Comienzo de armado de estructura de madera**



**Fotografía N°17.- Estructura de madera**



**Fotografía N°18.- Encofrado para la cúpula**



**Fotografía N°19.- Encofrado para la cúpula**



**Fotografía N°20.- Construcción de la base de tapa**



**Fotografía N°21 .- Conexión de tuberías y accesorios**



**Fotografía N°22.- Finalizado trabajos de albañilería**



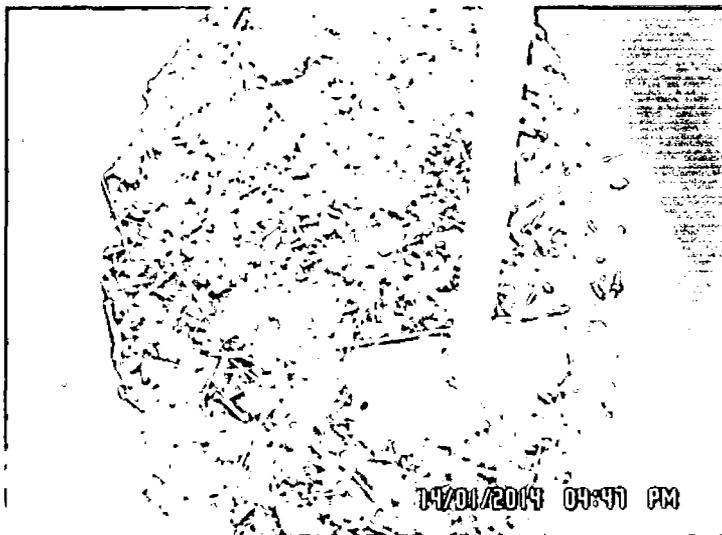
**Fotografía N°23.- Biodigestor**



**Fotografía N°24.- Estiércol de cuy**



**Fotografía N°25.- Estiércol de conejo**



**Fotografía N°26.- Identificación de objetos extraños**



**Fotografía N°27.- Preparación de mezcla**



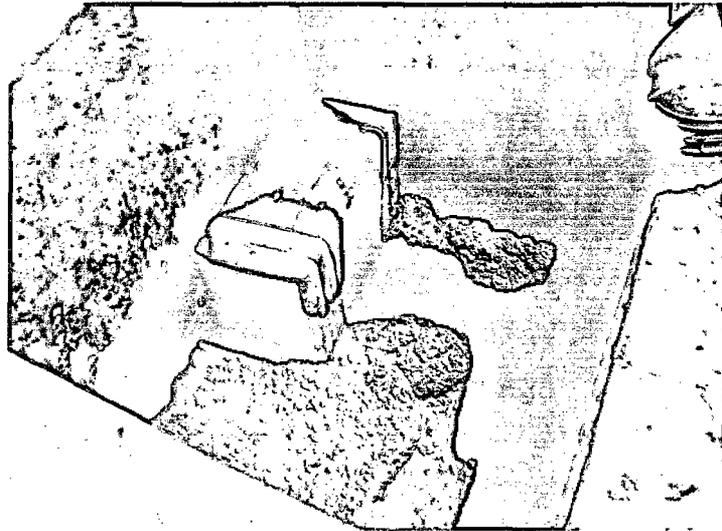
**Fotografía N°28.- Rumen fresco de Vaca**



**Fotografía N°29.- Homogenización de la mezcla**



**Fotografía N°30.- Comprobación del pH**



**Fotografía N°31.- Introducción de la mezcla al Biodigestor**

**ANEXO III: RESULTADOS DE ANALISIS**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

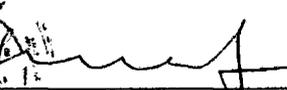


## INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: VEGA ARQUIÑO JHON
PROYECTO	: "Diseño, Construcción y Evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi"
MUESTRA	: Estiércol de cuy y conejo
FECHA DE INGRESO	: 27 DE JULIO DEL 2015
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

PARAMETROS	Unidades	CUY	CONEJO
HUMEDAD	%	8.03	8.25
NITROGENO	%	2.12	1.9
FOSFORO(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	1.85	1.36
POTASIO(K <sub>2</sub> O)	%	1.67	1.12
CARBONO	%	0.105	0.060
PODER CALORIFICO	Cal/kg	6328	6985
C/N		14	13

TRUJILLO, 03 DE AGOSTO DEL 2015

  
DR. NOÉ COSTILLA SANCHEZ  
DIRECTOR

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

949959632 - RPM: \*0056432 - RPC: 949119298



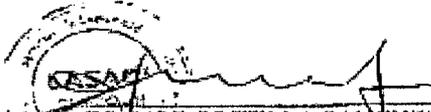
### INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: VEGA ARQUIÑO JHON
PROYECTO	: "Diseño, Construcción y Evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi"
MUESTRA	ABONO ORGANICO (BIOL)
FECHA DE INGRESO	: 25 DE FEBRERO DEL 2014
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

pH	C.E d S/m	%N	Pppm	K ppm
7.27	3.68	1.43	44	266

La muestra (Biol), tiene una reaccion Neutra, encunto a Salinidad es ligeramente Salina, rica en nitrógeno, rico en fosforo y mediantemente rico en potasio.

TRUJILLO, 27 DE FEBRERO DEL 2014

  
DR. NOÉ COSTILLA SÁNCHEZ  
DIRECTOR

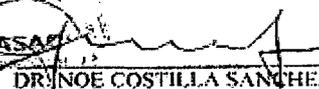


### INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: VEGA ARQUIÑO JHON
PROYECTO	: "Diseño, Construcción y Evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi"
MUESTRA	: ANÁLISIS DE GASES (BIOGAS)
FECHA DE INGRESO	: 25 DE FEBRERO DEL 2014
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

PARAMETRO	UNIDADES	CANTIDADES
METANO (CH <sub>4</sub> )	%	55
DIOXIDO CARBONO (CO <sub>2</sub> )	%	34
NITROGENO (N <sub>2</sub> )	%	8
SULFURO HIDROGENO (H <sub>2</sub> S)	%	1
HIDROGENO (H <sub>2</sub> )	%	2

TRUJILLO, 27 DE FEBRERO DEL 2014

  
DR. NOE COSTILLA SANCHEZ  
DIRECTOR

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

☎ 949959632 • RPM: \*0056432 • RPC: 949119298

**ANEXO IV: PROCEDIMIENTO DE LOS ANALISIS EN  
LABORATORIO**

## DETERMINACION DE % NITROGENO

1. Pesar 0.5 gramos. de muestra ( % N Max. aprox. es 46 ) y colocarlo en un matraz erlenmeyer de 500 mL.(matraz de digestión)
2. Pesar 0,5 g. de  $\text{CuSO}_4$ , 5 g. de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y adicionarlos al matraz erlenmeyer.
3. Colocar como tapa un embudo pequeño y calentar la mezcla hasta ebullición, manteniéndola hasta la completa digestión de la muestra, esto es hasta adquirir una coloración verdosa transparente.
4. Enfriar la solución y lavar el embudo con agua destilada vertiendo los lavados en el balón de destilación.
5. La muestra se vierte al balón de destilación y se lava el matraz de digestión vertiendo los lavados al balón de destilación.
6. Diluir hasta 300 mL con agua destilada y añadir 10 gotas de Fenoltaleína.
7. Se instala el equipo de destilación Kjeldahl y se añaden aprox. 100 mL de NaOH al 40% gota a gota. Debe aparecer un color oscuro debido a la fenoltaleína conforme se adiciona el hidróxido.
8. Se destila el líquido del matraz de Kjeldahl recogiendo los vapores ( $\text{NH}_3$  y agua) desprendidos en un juego de tubos captadores de destilado, los cuales contienen en total 100 mL de HCl 0,1N std. y 4 gotas de indicador de proteínas (verde bromocresol + rojo de metilo). La destilación culmina cuando se capta un volumen aproximado de 100 mL de destilado.
9. Luego el contenido de los tubos se vierten a un matraz de 500 mL y lavarlos vertiendo los lavados al matraz.
10. Luego se titula el contenido del matraz con NaOH 0,1N std. el viraje es de rojo a celeste

**CALCULO:**

$$\% N = \frac{1,4 * (N_a * V_a - N_b * V_b)}{W_m}$$

Donde:

$N_a$  : Normalidad del HCl 0,1 std.

$V_a$  : Volumen de HCl

$N_b$  : Normalidad del NaOH 0,1 std.

$V_b$  : Volumen del NaOH gastado.

## DETERMINACION DE HUMEDAD

### OBJETIVO:

Determinar la cantidad de agua libre en una muestra.

### PROCEDIMIENTO:

Colocar la luna de reloj a la estufa (a 103° C), por 20 min.

Enfriar en el desecador.

Pesar la luna seca y fría.

Pesar sobre la luna una cantidad de muestra aproximada (aprox. 10 gr.) y distribuirla en forma homogénea.

Colocar la muestra en la estufa por una hora.

Enfriar en el desecador y pesar.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{pérdida de peso}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

### CALCULOS:

$$W \text{ luna sola} = 67,3500$$

$$W. \text{ luna} + \text{ muestra} = 77,4871$$

$$X \text{ muestra} = 10,1371$$

$$Y \text{ muestra seca} + \text{ luna} = 76,4580$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{77,4871 - 76,4580}{10,1371} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 10,15$$

## **DETERMINACIÓN DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> TOTAL**

### **(Método Oficial de la A.O.A.C)**

1. Pesar 1 - 3 g o mas de muestra (Wm)de acuerdo al tipo de muestra, p.e. abono.
2. Añadir 10 ml de HNO<sub>3</sub> y 30 ml HCL CC.
3. Calentar hasta ebullición y disgregar con varilla de vidrio.
4. Enfriar a temperatura ambiente, diluir con agua destilada y trasvasar todos los lavados a fiola de 250 ml (filtrar si es necesario) y aforar.
5. Tomar alícuota de 25 ml de muestra.(Vm ).
6. Añadir 5ml de HNO<sub>3</sub> y luego NH<sub>4</sub>OH hasta formar precipitado.
7. Diluir aprox. hasta 80 ml. Calentar o enfriar hasta 25 - 30°C.
8. Añadir 35 ml de solución de Molibdato de Amonio. Dejar reposar unos minutos.
9. Añadir al sobrenadante unos 25 ml de solución de Molibdato de Amonio, se observara formación de un precipitado amarillo, y si es necesario adicionar mas de la solución hasta que ya no se forme precipitado.
10. Agitar la solución para que la reacción sea completa.
11. Se filtra el líquido sobrenadante a través de papel filtro. Se retiene el papel filtro con el precipitado amarillo.
12. Lavar el precipitado con agua destilada fría a través del papel filtro hasta obtener un filtrado neutro al adicionar 1 gota de fenoltaleina y luego 1 o 2 gotas de NaOH 0,1N.(cambio de incoloro a grosella tenue).

13. Transferir el precipitado con el papel filtro a un vaso de 250 ml conteniendo 50 ml de NaOH 0.5 N, agitar con varilla hasta que se disuelva el precipitado (si el precipitado no se disgrega totalmente y no adquiere un tono transparente se sigue añadiendo NaOH 0.5N). Añadir unos 25 ml de agua destilada.
14. Titular con HCl 0.5N.(el NaOH no reaccionado), usando 3 gotas de Fenoltaleina como indicador. Anotar el gasto de HCl 0.5N.
15. Calcular el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

**FORMULA GENERAL:**

$$\% P_2O_5 = \frac{(V * N)_{NaOH} - (V * N)_{HCl}}{V_m} * \frac{250}{1000} * \frac{3.086}{W_m} * 100$$

Para V<sub>m</sub> = 25 mL:

$$\% P_2O_5 = \frac{3.086}{W_m} * ((V * N)_{NaOH} - (V * N)_{HCl})$$

## AY-10 - el Análisis de Fertilizantes: El potasio

**Alcance** Este método describe la determinación de potasio en los fertilizantes por la absorción atómica. La longitud de onda menos sensible de 404.4 nm se usa para evitar la dilución excesiva.

**Análisis Típico**

**Procedimiento**

**Muestra** Colocar 2,5 g de fertilizante en un frasco volumétrico 250mL.

**Preparación** Agregue 150 mL de agua destilada e hierva durante 30 minutos. Refresque, diluya el volumen con el agua y mezcle completamente. Filtrese a través de un filtro seco o dejarlo verticalmente toda la noche. Para muestras que contienen menos del 20% de  $K_2O$ , transfiera unos 25-mL alícuota a un frasco de 100 mL, diluya al volumen, y agite completamente. Para la muestra conteniendo más del 20% de  $K_2O$ , use un alícuota más pequeño.

**Análisis** Determina la concentración de potasio en las muestras que usan las condiciones listadas en las paginas de " Standard Conditions". La longitud de onda de potasio menos sensible, 404,4 nm, debe usarse.

**References** 1. V.A. Thorpe .J. AOAC 56, 147 (1973). Direct Determination of Potash in Fertilizers by Atomic Absorption Spectrophotometry.

2. M.L. McCracken, H. J. Webb. H. E. Hammar, and C. B. Loadholt, J. AOAC 50, 5 (1967). Comparison of Potassium Content of Fertilizers by Atomic Absorption and Sodium Tetraphenylboron.

**ANEXO V: HOJAS DE SEGURIDAD**

**HOJA DE SEGURIDAD DEL METANO.**

<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>	
Metano	
<b>NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS</b>	
Metano, Hidruro de Metilo, Gas de los Pantanos	
<b>NOMBRE QUIMICO Y SINONIMO</b>	
Metano	
<b>FORMULA =</b>	<b>FAMILIA ORGANICA</b>
CH <sub>4</sub> PM: 16.04	Hidrocarburos alifáticos

**INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD**

<b>LIMITE DE EXPOSICION</b> OSHA: Ninguno establecido. ACGIH: Asficiente simple.
<b>SINTOMAS DE EXPOSICION</b> INHALACION: Altas concentraciones de metano para no admitir un suministro adecuado de oxigeno a los pulmones producirán mareos, respiración profunda debido a la necesidad de aire, posibles nauseas y la inconsciencia eventual.
<b>PROPIEDADES TOXICOLOGICAS</b> El metano es inactivo biológicamente y esencialmente no es tóxico; por lo tanto, el mayor riesgo de sobre exposición es la no admisión de un suministro adecuado de oxigeno a los pulmones. El metano no está clasificado como cancerígeno o potencialmente cancerígeno por NTP, IARC u OSHA Subparte Z
<b>TRATAMIENTO Y PRIMEROS AUXILIOS RECOMENDADOS</b> SE REQUIERE ATENCIÓN MEDICA INMEDIATA EN TODOS LOS CASOS DE SOBREEXPOSICIÓN AL METANO. EL PERSONAL DE RESCATE DEBE ESTAR EQUIPADO CON EL EQUIPO DE PROTECCIÓN APROPIADO (EQUIPO DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMO, ETC.) PARA PREVENIR LA EXPOSICIÓN INNECESARIA Y ESTAR CONSCIENTE DEL PELIGRO EXTREMO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN.  Las personas concientes deben ser trasladadas a un área sin contaminación e inhalar aire fresco suministrando oxigeno suplementario si está disponible. Las personas inconscientes deben ser trasladadas a un área sin contaminación, si no está respirando, dar resucitación boca a boca y oxigeno suplementario. Remover a la persona rápidamente del área contaminada es lo más importante. El tratamiento posterior debe ser sintomático y de apoyo.

**MEZCLAS PELIGROSAS DE OTROS LIQUIDOS, SOLIDOS O GASES**  
 Forma mezclas explosivas o inflamables con la mayoría de los agentes oxidantes (oxígeno, cloro, flúor, etc.) y es inflamable en aire en un amplio rango.

**PROPIEDADES FISICAS**

<b>PUNTO DE EBULLICIÓN @ 1 atm.</b>  -258.6 °F (-161.4 °C)	<b>DENSIDAD DEL LIQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN</b>  26.4 lb/ft <sup>3</sup> (424.7 kg/m <sup>3</sup> )
<b>PRESION DE VAPOR @ 70 °F (21.1 °C)</b> arriba de la temperatura crítica de -116.17 °F (-82.8 °C)	<b>DENSIDAD DEL GAS A 70°F, @ 1atm</b> 0.042 lb/ft <sup>3</sup> (0.673 kg/m <sup>3</sup> )
<b>SOLUBILIDAD EN AGUA A 64 °F (vol/vol.)</b>  Insignificante	<b>PUNTO DE CONGELAMIENTO</b>  -296.45 °F (-182.47 °C)
<b>APARIENCIA Y OLORES</b> Gas incoloro e inodoro. Gravedad especifica a 70 °F (21.1°C), 1 atm (aire = 1) = 0.555	

**INFORMACIÓN SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN**

<b>PUNTO DE IGNICION (MÉTODO USADO)</b>  -306 °F (-188 °C) C. C.	<b>TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN</b>  1076 °F (580 °C)	<b>LIMITES DE INFLAMABILIDAD POR VOLUMEN</b> INFERIOR 5 SUPERIOR 15
<b>METODO DE EXTINCION</b>  Polvo químico, CO2 ó agua.	<b>CLASIFICACION ELECTERICA</b>  Clase 1, Grupo D	
<b>PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR INCENDIOS</b> Si es posible, cierre la fuente de metano. Desde una distancia segura, use chorro de agua para enfriar los cilindros adyacentes hasta que el fuego sea extinguido por completo. Si es posible sin arriesgarse, mueva los cilindros a un área alejada del incendio.		
<b>PELIGROS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION</b> Si la flama es extinguida y el flujo de gas continúa, incremente la ventilación para prevenir la formación de una atmósfera inflamable o explosiva. Los cilindros expuestos al calor o flama pueden ventearse rápidamente o explotar.		



**PROTECCION OCULAR**

Se recomienda el uso de anteojos de seguridad para el manejo de cilindros

**EQUIPO DE PROTECCION**

En situaciones de emergencia utilice ropa resistente al fuego.

**PRECAUCIONES ESPECIALES****INFORMACION ESPECIAL DE CLASIFICACION**

El metano está clasificado como un gas inflamable, clase de riesgo 2.1. Debe especificarse en la calcomanía "GAS INFLAMABLE". El nombre correcto para transportación es METANO O METANO COMPRIMIDO. El número UN es 1971.

**RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO**

**SOLO USELO EN AREAS BIEN VENTILADAS.** Los capuchones de protección de las válvulas deben permanecer en su lugar a menos de que el cilindro este asegurado y la válvula acoplada al punto de uso. Utilice un regulador reductor de presión cuando los cilindros se conecten a tuberías o sistemas de baja presión (<3000 psi). Utilice una válvula de retención para prevenir retroceso a los cilindros. Nunca aplique flama o calor directo a ninguna parte del cilindro para incrementar el flujo de descarga del cilindro. Evite arrastrar, deslizar ó rodar los cilindros, aún en distancias cortas. Use un carro apropiado para el traslado de cilindros.

Para recomendaciones adicionales en el manejo de cilindros consulte el folleto P-1 de la Compressed Gas Association (CGA).

**RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ALMACENAMIENTO**

Proteja los cilindros de daños físicos. Almacénelos en áreas con buena ventilación, secas y frías construidas con materiales no inflamables y localizados en áreas que no contengan tráfico pesado o salidas de emergencia. Los cilindros deben almacenarse en posición vertical y bien sujetos para prevenir caídas o que sean tirados. No permita que la temperatura de las áreas de almacenamiento exceda 125 °F (52 °C). No deberá haber fuentes de ignición en las áreas de almacenamiento o uso. Coloque señales de "No Fumar" o "No usar flamas" en las áreas de almacenamiento o uso. Separe los cilindros vacíos de los llenos. Use un sistema de inventarios de "primeras entradas - primeras salidas" para prevenir que los cilindros llenos sean almacenados por períodos excesivos de tiempo.

**RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ENVASADO**

El metano no es caustico y puede ser usado con cualquier material estructural común.

**OTRAS PRECAUCIONES O RECOMENDACIONES**

Las líneas y el equipo asociado con el sistema de metano deben ser conectadas a tierra. Todo el equipo eléctrico debe ser antichispas o a prueba de explosión. Los cilindros de gases comprimidos sólo deben ser llenados por el personal experimentado de productores calificados. Los cilindros deben transportarse asegurados en posición vertical en una unidad con buena ventilación. Nunca los transporte en el compartimiento de pasajeros de un vehículo

**HOJA DE SEGURIDAD DEL DIOXIDO DE CARBONO**

<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>	
Dióxido de Carbono	
<b>NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS</b>	
Dióxido de Carbono, Gas Carbónico	
<b>NOMBRE QUIMICO Y SINONIMOS</b>	
Dióxido de Carbono, Anhídrido Carbónico, Gas de Ácido Carbónico	
<b>FORMULA =</b>	<b>FAMILIA ORGANICA</b>
CO <sub>2</sub> P.M. 44.01	Oxidos no metálicos

**INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD**

<b>LIMITE DE EXPOSICION</b>	
OOSHA: PEL-TWA = 5,000 ppm. ACGIH-TW-TWA = 5000 PPM. NIOSH: No Establecido CPT: 5,000 ppm. CCT : 15,000 PPM El dióxido de carbono no está clasificado como cancerígeno por IARC, NTP u OSHA.	
<b>SÍNTOMAS DE EXPOSICIÓN</b>	
El dióxido de carbono no favorece la vida e inmediatamente puede producir atmósferas peligrosas. A una concentración mayor a 1.5% el dióxido de carbono puede producir hiperventilación, dolor de cabeza, disturbios visuales, temblor, pérdida de la conciencia y muerte. Los síntomas de exposición a concentraciones de 1.5 a 5% pueden ser altamente variables, pero los síntomas típicos de intoxicación con dióxido de carbono incluyen los siguientes:	
Concentración de CO <sub>2</sub>	Síntomas
1%	Incrementa el ritmo de la respiración
3-6%	Dolor de cabeza, sudor, disnea.
6-10%	Dolor de cabeza, sudor, disnea, temblor, disturbios visuales, inconsciencia
mayor al 10%	Inconsciencia
<b>PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS</b>	
El dióxido de carbono es un componente menor pero importante en la atmósfera, se encuentra en una concentración aproximada de 0.03% por volumen. A concentraciones altas afecta la velocidad de respiración. Los síntomas adicionales fueron descritos con anterioridad.	

**TRATAMIENTO Y PRIMEROS AUXILIOS RECOMENDADOS**

Las personas que presenten efectos tóxicos por la exposición al dióxido de carbono deben ser trasladadas a áreas con atmósfera normal. PUEDE SER NECESARIO EL USO DE EQUIPO DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMO PARA PREVENIR LA EXPOSICIÓN TÓXICA O LA ASFIXIA DEL PERSONAL DE RESCATE. Si la víctima no está respirando aplique respiración artificial y administre oxígeno. Los tejidos congelados deben ser irrigados o empapados con agua tibia (41-46°C). NO UTILICE AGUA CALIENTE. Las quemaduras criogénicas que produzcan ampollas o congelamiento severo de los tejidos deben ser tratadas de inmediato por un médico.

**MEZCLAS PELIGROSAS DE OTROS LIQUIDOS, SOLIDOS O CASES**

Ninguna

**PROPIEDADES FISICAS**

PUNTO DE EBULLICIÓN @ 1 atm. - 109.3°F (-78.5 °C)	DENSIDAD DEL LIQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN @ -35°F (-37°C), 11 atm: 68.74 lb/ft <sup>3</sup>
PRESION DE VAPOR @ 68°F (20°C): 851 psia (56.5 atm).	DENSIDAD DEL GAS A @ 68 °C (20°C), 1 atm: 0.115 lb/ft <sup>3</sup>
SOLUBILIDAD EN AGUA A @ 68°F (20°C), 1 atm: 87.8% en volumen	PUNTO DE CONGELAMIENTO @ 76 psia: - 69.9 °F (-56.6°C)

**APARIENCIA Y OLOR**

El dióxido de carbono es incoloro e inodoro como gas o líquido. Es almacenado en contenedores bajo su propia presión de vapor. Si la presión es liberada repentinamente, el líquido se enfría rápidamente conforme se evapora y sublima, produciendo hielo seco a -109.3 °F (-78.5°C). Gravedad específica (aire=1) @ 68°F (20° C), 1 atm=1.53

**INFORMACIÓN SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN****DEFINICION DEL GRADO DE RIESGO**

SALUD : 1 INFLAMABILIDAD : 0 REACTIVIDAD : 0 ESPECIAL : Ninguna

PUNTO DE IGNICION (METODO USADO) N/A	TEMPERATURA DE AUTOIGNICION N/A	LIMITES DE INFLAMABILIDAD % POR VOLUMEN N/A
METODO DE EXTINCION N/A	CLASIFICACION ELECTRICA N/A	
PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR INCENDIOS N/A		
PELIGROS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION N/A		



## INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

Dióxido de carbono no genera efectos adversos a la ecología. El dióxido de carbono no contiene ningún químico de clase I o II que afecten la capa de ozono, el dióxido de carbono no está catalogado como contaminante marino. El dióxido de carbono no se encuentra dentro de los listados que sirven para clasificar a una actividad como de alto riesgo.

## METODO DE ELIMINACION DE DESECHOS

No intente desechar el dióxido de carbono residual en cilindros de gases comprimidos. Cuando desecha cantidades a granel de dióxido de carbono proveniente de tanques de almacenamiento refrigerados, siempre hacerlo a un área al aire libre, con buena ventilación y alejada de áreas de trabajo, donde los vapores se pueden dispersar. Ventear lentamente a la atmósfera debido a que una despresurización rápida del contenedor provocará la formación interna de dióxido de carbono sólido (hielo seco), requiriendo periodos largos de tiempo para vaporizarse.

## INFORMACIÓN PARA PROTECCIÓN ESPECIAL

### PROTECCION RESPIRATORIA

Utilizar equipo de respiración autónomo donde el dióxido de carbono este presente en una cantidad mayor a 1.5%. ¡PRECAUCIÓN!

Las mascarillas no funcionarán. Su uso puede provocar asfixia.

### VENTILACION

Natural o forzada donde el gas esté presente para evitar concentraciones de dióxido de carbono mayores a los normales en las áreas de trabajo.

### GUANTES DE PROTECCION

Utilizar guantes de material impermeable que sean fáciles de remover, tales como piel o cuero cuando se trabaje con líquido frío, sólido o vapor.

### PROTECCION OCULAR

Se recomienda usar anteojos de seguridad para el manejo de cilindros de alta presión y en áreas donde se descarguen vapores. Se recomienda usar adicionalmente protector facial.

### EQUIPO DE PROTECCION

Zapato con casquillo y ropa 100% algodón.

## PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

### RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO

Evitar el contacto con la piel CO<sub>2</sub> líquido, vapores fríos, o la "nieve" de dióxido de carbono. Evitar que el líquido pueda quedar atrapado en sistemas cerrados. Sólo utilizarlo en áreas bien ventiladas. Los cilindros de gases comprimidos contienen dióxido de carbono líquido y gaseoso a presiones extremadamente altas y por lo mismo deben ser manejados con cuidado. Utilizar un regulador para reducir la presión cuando se conecte a un sistema de tuberías de baja presión. Asegurar los cilindros cuando estén en servicio. Nunca utilizar flama directa para calentar los cilindros de gases comprimidos. Utilizar una válvula de retención para prevenir el retroceso de flujo al contenedor. Evitar arrastrar, deslizar o rolar los cilindros aún en distancias cortas. Utilice un carro de mano adecuado (diablo) para transportar cilindros de gases comprimidos.

### RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ALMACENAMIENTO

Almacena los contenedores de líquidos y los cilindros en áreas con buena ventilación. Mantenga los cilindros alejados de fuentes de calor. No almacenar los cilindros en áreas de tráfico pesado para evitar la caída accidental o el daño al caer o objetos en movimiento. Los capuchones deben permanecer fijos a los cilindros cuando no estén en servicio. Separar los cilindros llenos de los vacíos. Las áreas de almacenamiento deben estar libres de materiales combustibles. Evitar la exposición en áreas donde estén presentes sales u otros químicos corrosivos. Almacenar los cilindros de dióxido de carbono con la válvula hacia arriba.

### RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ENVASADO

El dióxido de carbono es envasado en cilindros que cumplen las especificaciones DOT, el código ASME o la norma NOM S-11-1970.

### OTRAS PRECAUCIONES O RECOMENDACIONES

En aplicaciones donde las temperaturas sean menores de -20°F (29°C), evitar el uso de acero al carbón y otros materiales que lleguen a ser frágiles a bajas temperaturas. Los cilindros de gases comprimidos sólo pueden ser llenados por proveedores calificados de gases comprimidos. Utilice un analizador de CO<sub>2</sub> portátil o continuo para medir la concentración de CO<sub>2</sub> en áreas donde el gas pueda ser venteado y se concentre.

**HOJA DE SEGURIDAD DEL SULFURO DE HIDROGENO**

<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b> Sulfuro de Hidrogeno	
<b>NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS</b> Sulfuro de Hidrogeno, Hidrogeno Sulfurado	
<b>NOMBRE QUIMICO Y SINONIMOS</b> Sulfuro de Hidrogeno	
<b>FORMULA =</b>  H <sub>2</sub> S	<b>FAMILIA ORGANICA</b> Hidruro no metálico

**INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD**

<b>LIMITE DE EXPOSICION</b> OSHA y ACGIH : TWA = 10 PPM, STEL = 15 PPM, NIOSH : IDLH = 300 PPM
<b>SINTOMAS DE EXPOSICION</b> Exposición continua a bajas concentraciones (15-20 ppm) generalmente causará irritación a las membranas mucosas y a la conjuntiva de los ojos. Puede causar también dolor de cabeza mareos o nauseas. Concentraciones mayores (200-300 ppm) pueden provocar paro respiratorio que conduzca a estado de coma o inconciencia. Las exposiciones por más de 30 minutos a concentraciones de más de 700 ppm han sido fatales. La inhalación continua de bajas concentraciones puede causar fatiga (pérdida de sensibilidad al olor) provocando que el olfato no detecte su presencia.
<b>PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS</b> La inhalación de Sulfuro de Hidrogeno es altamente tóxica, también es un irritante a la mucosa y a las membranas y a la conjuntiva de los ojos. La continua exposición al producto inhabilita el olfato. Toxicológicamente su reacción con enzimas en la corriente sanguínea inhibe la respiración pulmonar resultando parálisis pulmonar, colapso repentino y muerte. Algunas veces esta situación oculta su efecto irritante sobre las membranas mucosas y tejidos, los cuales en el peor de los casos causará edema pulmonar (formación anormal de fluidos en los pulmones) o lesiones de las conjuntivas. El Sulfuro de hidrogeno no está catalogado por las asociaciones IARC, NTP u OSHA en su parte 2 como material carcinógeno o potencialmente carcinógeno.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

<b>PUNTO DE EBULLICIÓN @ 1 atm.</b> -76.5°F (-60.3°C)	<b>DENSIDAD DEL LIQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN</b> 59.1 lb/ft <sup>3</sup> (946 kg/m <sup>3</sup> )
<b>PRESIÓN DE VAPOR</b> a 70°F (21.1°C) 261 psia (1800 KP2)	<b>DENSIDAD DEL GAS</b> 0.0893 lb/ft <sup>3</sup> (1.43 kg/m <sup>3</sup> )
<b>SOLUBILIDAD EN AGUA</b> Soluble	<b>PUNTO DE CONGELAMIENTO</b> -121.99°F (-85.55°C)
<b>APARIENCIA Y OLOR</b> Es transportado y almacenado como líquido bajo su propia presión de vapor. El vapor es incoloro y con un olor característico a huevos podridos. Gravedad específica a 70°F (aire =1) 1.192	

**INFORMACIÓN SOBRE RIESCOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN**

<b>PUNTO DE IGNICIÓN</b>  (MÉTODO USADO) Gas	<b>TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN</b>  554 °F (290 °C)	<b>LÍMITES DE INFLAMABILIDAD % POR VOLUMEN</b>  VOLUMEN INFERIOR 4.00 SUPERIOR 44.0
<b>METODO DE EXTINCIÓN</b> Bióxido de Carbono, polvo químico o agua		<b>CLASIFICACION ELECTRICA</b> Clase 1
<b>PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR INCENDIOS</b> Si es posible sin riesgo, detenga el flujo de gas si es posible desde una distancia segura, enfriar con agua los recipientes expuestos hasta que el fuego se haya extinguido completamente. El escape del producto fuera de control de fuego puede causar polución.		
<b>FELIGROS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION</b> El Sulfuro de Hidrógeno es ligeramente más pesado que el aire, de tal manera que puede acumularse en nube a baja altura y viajar una distancia considerable hacia una flama o otra fuente de ignición. Los cilindros expuestos al fuego o al calor pueden ventearse rápidamente o explotar.		

**DATOS DE REACTIVIDAD**

<b>ESTABILIDAD</b>	<b>CONDICIONES A EVITAR</b>
ESTABLE                      INESTABLE X	
<b>INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES A EVITAR)</b> Ácido Nítrico concentrado, Cloro, Trifluoruro de Nitrógeno, Difluoruro de Oxígeno, u otros agentes oxidantes fuertes.	<b>PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS</b> Óxidos de Azufre
<b>RIESGO DE POLIMERIZACIÓN</b>	<b>CONDICIONES A EVITAR</b>
NO OCURRE                  PUEDE OCURRIR X	N/A

**PROCEDIMIENTOS EN CASOS DE FUGAS O DERRAMES**

<p><b>MEDIDAS DE SEGURIDAD EN CASOS DE FUGAS O DERRAMES</b> Evacue a todo el personal del área afectada. Use equipo de protección apropiada. Si la fuga se encuentra en el equipo del usuario asegurarse de purgar la tubería con un gas inerte antes de realizar alguna reparación, si la fuga se presenta en el contenedor en la válvula.</p>
<p><b>METODO DE ELIMINACION DE DESECHOS</b> Deben respetarse todos las reglamentaciones federales, estatales o locales con respecto a la salud y a la contaminación para el desecho de estos materiales. No deseche cantidades que no sean usadas.</p>

**INFORMACIÓN PARA PROTECCIÓN ESPECIAL**

<p><b>PROTECCION RESPIRATORIA (ESPECIFICAR EL TIPO)</b> Equipo de respiración autónomo deberá estar disponible en caso de emergencia.</p>
<p><b>VENTILACION</b> Utilice una campana con ventilación forzada y / o extracción local para evitar la acumulación a niveles superiores de 10 ppm.</p>
<p><b>GUANTES DE PROTECCION</b> De neopreno o hule de butílico, PVC, Polietileno.</p>
<p><b>PROTECCION OCULAR</b> Lentes de seguridad y protector facial.</p>
<p><b>OTRO EQUIPO DE PROTECCION</b> Zapatos de seguridad, regaderas de seguridad, fuente de lavavajos, ropa de protección resistente a productos químicos.</p>

## PRECAUCIONES ESPECIALES

### INFORMACION ESPECIAL DE CLASIFICACION

Nombre del envío de DOT : Sulfuro de Hidrógeno, licuado, etiqueta de envío de DOT :  
gas tóxico inflamable, clase de riesgo DOT : 2.3 número UN 1053

### RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO

Úsese únicamente en áreas bien ventiladas. Deben mantenerse los capuchones bien colocados a menos que el contenedor se encuentre en uso. No arrastre, deslice o role los cilindros. Use un transportador adecuado para el movimiento de los cilindros. Use un regulador para reducir la presión cuando el cilindro sea conectado a un sistema o tubería de menor presión (<750 Psig.) No caliente el cilindro por ningún medio para aumentar la velocidad de descarga. Use una válvula check ó trampa en la línea de descarga para evitar el retroceso de flujo al cilindro.

### RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ENVASADO

Muchos metales se corroen rápidamente en presencia de Sulfuro de Hidrógeno húmedo. El Sulfuro de Hidrógeno Anhidro (Contenido de Agua < -40 F) puede ser manejado en Aluminio, Inconel, Estelita y Acero Inoxidable 304 y 316. Evitar los aceros duros puesto que son susceptibles a quebraduras de Hidrógeno debido al Sulfuro de Hidrógeno

### OTRAS PRECAUCIONES O RECOMENDACIONES

Conecte a tierra todas las líneas y equipo asociado con sistemas de Sulfuro de Hidrógeno y el equipo efectivo debe ser a prueba de explosión y sin generación de chispa eléctrica. Los cilindros de gases comprimidos no deben ser rellenados excepto por protectores calificados de gases comprimidos.

**HOJA DE SEGURIDAD DEL HIDROGENO**

<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b> Hidrogeno	
<b>NOMBRE COMERCIAL Y SINONIMOS</b> Hidrógeno	
<b>NOMBRE QUIMICO Y SINONIMOS</b> Hidrógeno	
<b>FORMULA =</b>  H <sub>2</sub>	<b>FAMILIA ORGANICA</b> Gases inflamables

**INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD**

<p><b>LÍMITE DE EXPOSICIÓN</b> El hidrógeno es un simple asfixiante por lo que no tiene un valor límite de exposición (TLV). El hidrógeno no está clasificado como cancerígeno por NTP, IARC, u OSHA.</p> <p>CPT: Asfixiante puro OCT: Asfixiante puro</p>
<p><b>SINTOMAS DE EXPOSICIÓN</b> El hidrógeno no es tóxico y está clasificado como un simple asfixiante. Los síntomas de anoxia sólo ocurrirán cuando las concentraciones del gas estén dentro de los rangos de inflamabilidad y la mezcla no haya encendido. <b>NO ENTRAR EN ÁREAS DENTRO DEL RANGO DE INFLAMABILIDAD DEBIDO A LOS PELIGROS INMEDIATOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN.</b></p>
<p><b>PROPIEDADES TONICOLÓGICAS</b> El hidrógeno no es tóxico y está clasificado como un simple asfixiante, pero es extremadamente inflamable. El hidrógeno necesario para reducir las concentraciones del oxígeno en un nivel inferior al requerido para soportar la vida causaría mezclas dentro de los rangos de inflamabilidad. No entrar en áreas que contengan mezclas inflamables debido al peligro inmediato de incendio o explosión.</p>
<p><b>TRATAMIENTO Y PRIMEROS AUXILIOS RECOMENDADOS</b> Las quemaduras de primer grado (sólo enrojecido, como quemadura de sol), o de segundo grado (ampolla) que sean ocasionadas por la exposición al fuego y se encuentran localizadas en una porción de alguna extremidad u otra pequeña área del cuerpo, pueden ser sumergidas en agua fría de 10 a 20 min. Para aliviar el dolor. No sumergir el cuerpo entero en un baño de agua fría. Todas las quemaduras, excepto las de menor grado y que se localicen en un área pequeña deberán ser tratadas por un médico. Las áreas quemadas deben ser cubiertas con el material más limpio disponible, como una sábana limpia, previo al traslado del lesionado. No utilice ungüentos para quemaduras o materiales grasosos, a menos que sólo sean quemaduras de primer grado en áreas pequeñas. Las personas que sufran de falta de oxígeno deberán ser trasladadas a áreas con atmósfera normal. Si la víctima no está respirando aplique respiración artificial de preferencia boca a boca, si la respiración se dificulta administre oxígeno.</p>

**MEZCLAS PELIGROSAS DE OTROS LIQUIDOS, SOLIDOS O GASES**  
 No mezclar con gases oxidantes tales como oxígeno, flúor, cloro, etc.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

PUNTO DE EBULLICION @ 1 atm. - 423.0°F (-252.8°C)	DENSIDAD DEL LIQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN
PRESION DE VAPOR N/A	DENSIDAD DEL GAS 21.1 °C, 1 atm 0.0834401 kg/m <sup>3</sup>
SOLUBILIDAD EN AGUA @ 68°F(20°), 1 atm: 3.35% por volumen	PUNTO DE CONGELAMIENTO @1 atm: - 434.5 °F(-252.9°C)
APARIENCIA Y OLOR El hidrógeno es incoloro e inodoro.	

**INFORMACIÓN SOBRE RIESCOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN**

**DEFINICION DEL GRADO DE RIESGO**  
 SALUD : 0 INFLAMABILIDAD : 4 REACTIVIDAD : 0 ESPECIAL : NINGUNA

PUNTO DE IGNICIÓN (MÉTODO USADO) N/A Gas a temp. normal	TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN	LIMITES DE INFLAMABILIDAD % POR VOLUMEN VOLUMEN INFERIOR 4.00 SUPERIOR 74.2
MÉTODO DE EXTINCIÓN Polvo Químico, CO <sub>2</sub> , o Halón		CLASIFICACION ELECTRICA
PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR INCENDIOS Cerrar la fuente de hidrógeno. Cuando sea posible, permita que el fuego se extinga por sí mismo. Rocíar agua al equipo adyacente para mantenerlo frío.		
PELIGROS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSION El hidrógeno se quema con una flama casi invisible de baja radiación térmica. Hay gente que ha caminado sin saber en flamas de hidrógeno. Fácilmente se incendia; la energía mínima de ignición es muy baja (0.2 MJ) y el rango de inflamabilidad es muy amplio. La flama se propaga muy rápidamente. Existe peligro potencial de explosión por reignición si el fuego se extingue sin cerrar la fuente de hidrógeno. El hidrógeno puede acumularse en las áreas superiores de los lugares cerrados.		

#### DATOS DE REACTIVIDAD

<b>ESTABILIDAD</b>		<b>CONDICIONES A EVITAR</b>
ESTABLE X	INESTABLE	Fuentes de ignición, flamas, objetos calientes
<b>INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES A EVITAR)</b> Materiales oxidantes. Algunos aceros son susceptibles de ataque o de hacerse quebradizos a altas temperaturas o presiones.		<b>PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS</b> Ninguno
<b>RIESGO DE POLIMERIZACIÓN</b>		<b>CONDICIONES A EVITAR</b>
NO OCURRE X	PUEDE OCURRIR	Ninguna

#### PROCEDIMIENTOS EN CASOS DE FUGAS O DERRAMES

##### MEDIDAS DE SEGURIDAD EN CASOS DE FUGAS O DERRAMES

NO ENTRAR en áreas que contengan mezclas inflamables de hidrógeno en aire. Ventilar las áreas cerradas para prevenir la formación de atmósferas inflamables o deficientes de oxígeno. Ver "VENTILACION" a continuación. Eliminar todas las fuentes potenciales de ignición. Trasladar los cilindros de gases comprimidos al aire libre si la fuga es pequeña.

##### INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

El hidrógeno gas comprimido está catalogado como un material peligroso, la unidad que lo transporte se rotula con la etiqueta de transporte de material peligroso. Además debe portar el rombo de señalamiento de seguridad (gas inflamable) con el número de naciones unidas ubicando en la unidad según NOM-004-STC/1999. Cada envase requiere una etiqueta de identificación con información de riesgos primarios y secundarios.

La unidad deberá contar con su hoja de emergencia en transportación con la información necesaria para atender una emergencia según NOM-005-STC/1999.

Para este tipo de producto no existe ninguna restricción por incompatibilidad para el transporte con otro producto según NOM-010-STC/1999.

Los cilindros deberán ser transportados en posición vertical y en unidades bien ventiladas, nunca transporte en el compartimiento de pasajeros del vehículo.

#### INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

El hidrógeno no genera efectos adversos a la ecología, no contiene ningún químico de clase I o II que afecten la capa de ozono, el hidrógeno no está catalogado como contaminante marino. El hidrógeno por sus características se encuentra dentro del listado de los productos que si se almacenan, producen o transportan en cantidades iguales o mayores a la de reporte se consideran la actividad como de alto riesgo, la cantidad de reporte para el hidrógeno es de 500 kg.

<b>METODO DE ELIMINACION DE DESECHOS</b>
No intentar desechar el hidrógeno residual en cilindros.
<b>INFORMACION PARA PROTECCION ESPECIAL</b>
<b>PROTECCION RESPIRATORIA (ESPECIFICAR EL TIPO)</b>
Las atmósferas deficientes de oxígeno se encuentran en el rango de inflamabilidad. NO ENTRAR.
<b>VENTILACION</b>
Natural o mecánica según se requiera. La ventilación mecánica debe cumplir con el Código Nacional Eléctrico (NEC) para Clase I Grupo B.
<b>GUANTES DE PROTECCION</b>
Guantes de carnaza para el manejo de cilindros de gases comprimidos.
<b>PROTECCION OCULAR</b>
Se recomienda el uso de anteojos de seguridad para el manejo de cilindros de gases comprimidos.
<b>OTRO EQUIPO DE PROTECCION</b>
Zapato con casquillo y ropa 100% de algodón.

#### PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

<b>RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO</b>
Sólo utilizar en áreas con buena ventilación. Los cilindros de gases comprimidos contienen hidrógeno a una presión muy elevada, por lo que deben ser manejados con cuidado. Utilizar un regulador de presión cuando los cilindros se conecten a sistemas de baja presión. Asegurar los cilindros cuando estén en uso. Nunca utilizar flama directa para calentar los cilindros. Utilizar válvulas check para prevenir el retroceso de flujo al cilindro. Evitar arrastrar, deslizarse o rotar los cilindros aún en distancias cortas. Utilizar un diablo apropiado. Para recomendaciones adicionales consultar el folleto P-1 de la CGA. (Compressed Gas Association).
<b>RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ENVASADO</b>
El hidrógeno gaseoso en USA se envasa en cilindros que cumplen con las especificaciones DOT o los códigos ASME. En México se fabrican cilindros de acuerdo a la norma NOM S-11-1970.
<b>RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ALMACENAMIENTO</b>
El hidrógeno gaseoso en USA se envasa en cilindros que cumplen con las especificaciones DOT o los códigos ASME. En México se fabrican cilindros de acuerdo a la norma NOM S-11-1970.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACIÓN**

**“CATÁLOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN - TIPRO”**

**Resolución N° 1562 – 2006 - ANR**

**REGISTRO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES:**

**UNIVERSIDAD:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

**ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL:** INGENIERÍA EN ENERGIA

**TITULO DEL TRABAJO:** “DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION  
DE UN BIODIGESTOR SEMICONTINUO  
PARA LA GENERACION DE BIOGAS CON LA  
FERMENTACION ANAEROBICA DEL  
ESTIERCOL DE CUY Y DE CONEJO PARA  
LA INSTITUCION EDUCATIVA PRIVADA  
CRISTIANA BERESHI”

**ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** APLICACIONES DE NUEVAS  
TECNOLOGIAS

**AUTOR:**

- DNI: 43192790 VEGA ARQUIÑO, JHON ALEXIS

**TITULO PROFESIONAL A QUE CONDUCE:** TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO EN  
ENERGIA

**AÑO DE APROBACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN:** 2015

## **II. CONTENIDO DEL RESUMEN**

### **• PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

En el Perú la demanda de energía es satisfecha por el consumo de energía proveniente de la combustión del petróleo y la producida por varias centrales hidroeléctricas.

El potencial para el uso de la biomasa como fuente de energía en el Perú es bastante alto, en la actualidad la leña y la bosta representan una de las principales fuentes de energía en zonas rurales en el país.

Una alternativa de acceso a la energía térmica para cocción de alimentos en reemplazo de la leña y la bosta en sectores rurales y facilitar el acceso a fertilizantes es el uso de biodigestores

Es por ello que nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Qué mejoras se obtiene en el biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo regulando la composición de la biomasa en un biodigestor semicontinuo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi?

### **• OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL:**

- Obtener biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy en un biodigestor semicontinuo.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Construir un prototipo de biodigestor semicontinuo.
- Instalar un sistema de aislamiento del biodigestor.
- Evaluar los parámetros para la producción del biogás.
- Determinar los parámetros adecuados para la producción del biogás.

- **HIPÓTESIS:**

“Si controlamos rigurosamente la relación C/N, la Temperatura de fermentación y el PH del sustrato, obtendríamos una mezcla gaseosa de gas metano de 50% -70%, mejorando así la calidad del biogás”

- **MARCO TEORICO:**

Es un recipiente cerrado o tanque, el cual puede ser construido con diversos materiales (ladrillo y cemento, metal o plástico), posee un ducto de entrada por el que se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua (afluente), y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por la acción bacteriana abandona el biodigestor (efluente). Es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante (Martí, 2008).

Un biodigestor es un sistema en el cual se genera un ambiente adecuado para que la materia orgánica se descomponga en ausencia de oxígeno, a este fenómeno se le llama digestión anaeróbica. Esta descomposición se produce por bacterias que habitan en el interior del biodigestor y proceden principalmente del estiércol fresco, las cuales se alimentan de la materia orgánica produciendo como subproductos biogás, y fertilizantes llamados biol y biosol. Su funcionamiento es muy parecido al del estómago de una persona o un animal. (Ministerio de agricultura del Perú, 2011)

- **CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES:**

**CONCLUSIONES**

- Se realizó el diseño y construcción de un biodigestor semicontinuo tipo chino de una capacidad de 2.27 m<sup>3</sup>. Construido de concreto armado, teniendo :

ZONA	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	ALTURA (m)
Campana	0.54	0.4
Pared	1.569	1
Base cónica	0.16	0.24

- En la construcción se utilizó un impermeabilizante (SIKA), para que el biodigestor no sufra ninguna filtración. Dado el clima, la temperatura de ambiente y el lugar de la zona, no se utilizó un aislamiento.
- Se evaluó los parámetros para producción del Biogás. Los cuales detallamos a continuación:
  - El parámetro de C/N es de 25, esta composición garantiza que la relación C/N este dentro del óptimo (C/N: 25-30).
  - La temperatura de fermentación como promedio fue de 34°C, permitiendo el desarrollo de la biodigestión.
  - Se obtuvo un valor promedio para el pH de 7, dentro del proceso.
- Los parámetros adecuados para el desarrollo del proceso de la fermentación anaeróbica en un Biodigestor tipo chino utilizando estiércol de cuy y de conejo. Serían los siguientes, considerando

siempre la zona de trabajo, siendo esta Chimbote a una temperatura ambiente en el rango de ( 22-24°C):

PARAMETROS	DESCRIPCION
C/N	Rango 24 – 28
Temperatura Fermentación	Rango 31-35 °C
pH	Rango 6.5 - 7

- Se obtuvo Biogás, con una producción total de 6m<sup>3</sup>, con una velocidad de producción de 0.194 m<sup>3</sup>/día y una concentración de metano del 55% dentro de la composición del biogás.

## RECOMENDACIONES

- Antes de realizar la mezcla del estiércol con agua, verificar los materiales contenidos en el estiércol, porque muchas veces estos se recogen del suelo y pueden contener piedras, clavos, papel, plástico y otros productos que no son degradables; y tratan muchas veces de atorar la tubería.
- El mezclado se realizó no en el tanque de entrada, sino en un depósito aparte, para no dejar que ingrese tierra proveniente del estiércol, ya que esta se almacena en el tanque antes de ingresar la mezcla. De esta manera se trata de ingresar limpia la mezcla.
- Considerar la relación C/N del sustrato a ser cargado, para determinar la relación adecuada de carga. El exceso de nitrógeno inhibe la actividad de los microorganismos metanogénicos, lo que se evidenció con los datos del pH.
- Concientizar al beneficiario de la importancia del pretratamiento, ya que es importante que ellos manejen claro este concepto para el éxito y buen funcionamiento del biodigestor.
- Utilizar guantes quirúrgicos al momento de manipular las excretas, para evitar en lo posible algún tipo de contaminación.
- Utilizar las relaciones de carga planteadas para evitar en lo posible pérdidas de nutrientes y biogás.
- Al momento del llenado, dejar abierta la llave de purga para que escape el aire contenido dentro del biodigestor.
- El Biol obtenido al final del proceso anaeróbico es un fertilizante natural, el cual podemos utilizarlo, para las plantas y cultivos. Por las propiedades químicas que contiene el Biol, se debe realizar una mezcla con agua de tal manera que por cada litro de Biol se mezcle con 2 lt de agua, para posteriormente su riego.

• **BIBLIOGRAFÍA:**

1. APARCANA, S. (2005) *Estudio Sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "fermentación anaeróbica" para producción de biogás*. Editorial Pearson Prentice hall. 2<sup>da</sup> Edición - España
2. GTZ. (2008). *Biodigestores familiares guía, diseño y manual de instalación*. Editorial Creative Commons. 1<sup>ra</sup> Edición - Bolivia
3. GUARDADO, A. Y VARGAS, D. (2008). *Apuntes sobre el biogás como fuente de energía, taller demostrativo* - Chile.
4. HIVOS, SNV Y SOLUCIONES PRÁCTICAS. (2013). *"Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú"*. Editorial Continental. 2<sup>da</sup> Edición - Perú
5. KOSSMANN, W. (2008). *Biogas – Application and Product Development*. Editorial Eschborn, GTZ. 2<sup>da</sup> Edición – Canadá.
6. LLIROD, M. (1995). *"Producción de Biogás y Bioabono a partir de Desechos Sólidos en el Camal Yugofrio de Trujillo"*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Trujillo- Perú.
7. MARTÍ, J. (2008). *Bolivia "Guía de diseño y manual de instalación de Biodigestores familiares"*. Editorial Creative Commons. 1<sup>ra</sup> Edición Bolivia
8. RIVERA, M. (2011). *"Efecto de un bio protector comercial en la reducción de pH y carga microbiana putrefactiva en efluentes porcinos"*. Editorial Creative Commons. 2<sup>da</sup> Edición Bolivia
9. RUIZ, A. (2010). *"Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestion y manejo integral de residuos sólidos y líquidos,"* Editorial Creative Commons. 3<sup>ra</sup> Edición - Perú.

10. SÁNCHEZ P. (2006). "*La Biomasa y la Energía*". Editorial Paraninfo. 2<sup>da</sup> Edición – México
11. SVETLANA S, BUESO C, Y VIQUEZ J. (2012). "*Guía implementación de sistemas de biodigestión en eco empresas*". Editorial SNV. 1<sup>ra</sup> Edición - Honduras
12. VEGA, F. (2010). "*Variación de la densidad poblacional de indicadores de contaminación fecal en el Biol y Biosol de biodigestores de estiércol de cuy (cavia porcellus) Acopampa Carhuaz Ancash.*". (Tesis Maestría). UNASAM - Perú