



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS A  
PARTIR DE LAS EXCRETAS DE LAS GALLINAS PROVENIENTES DE  
LA GRANJA AVÍCOLA “BILBAO” EN LA PARROQUIA COTALÓ –  
PELILEO”**

**Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: JAIME IVÁN INCA GUERRERO.**

**TUTOR: Dr. GERARDO LEÓN**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

2016

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: el trabajo de investigación **“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE LAS EXCRETAS DE LAS GALLINAS PROVENIENTES DE LA GRANJA AVÍCOLA “BILBAO” EN LA PARROQUIA COTALÓ – PELILEO”**, de responsabilidad del señor Jaime Iván Inca Guerrero ha sido prolijamente revisado por los miembros del tribunal de trabajo de titulación , quedando autorizada su presentación

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Gerardo León

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Fernanda Rivera

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**NOTA DE TESIS** \_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Jaime Iván Inca Guerrero, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo toda la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 05 de Agosto del 2016

**Jaime Iván Inca Guerrero**

060413658-0

Yo, Jaime Iván Inca Guerrero, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

---

JAIME IVÁN INCA GUERRERO

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a mi Dios, El autor y dador de la vida, por haberme concedido el tiempo para poder alcanzar esta etapa en mi vida, por haberme concedido a mi familia y aquellas personas y amigos que han pasado por este viaje llamado vida.

Agradezco a mi padre y a mi madre por haberme amado, apoyado y soportado en cada problema dificultad que se han presentado durante el transcurso de mi vida hasta esta etapa.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mis maestros y tutores que me han instruido y ayudado. Al propietario de la granja avícola “Bilbao” el Sr. David Rosero, por el apoyo para realizar este proyecto previo a la titulación como Ingeniero en Biotecnología Ambiental.

**Jaime**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mi padre y madre, Jaime Jesús Inca Casco e Hilda Victoria Guerrero Rodríguez, que gracias a su esfuerzo, lucha y ejemplo he logrado concluir esta etapa en mi vida.

Dedico este trabajo a mis hermanas Vanessa y Jeymi, y a mi hermano Jhon, a toda mi familia que han estado siempre conmigo y me han brindado lo mejor de ellos, todo lo que ha estado a su alcance, por eso les agradezco inmensamente y les dedico este pequeño logro.

Por último quiero dedicar este trabajo a mis amigos y compañeros de clases que siempre estarán presentes en mis recuerdos, les deseo lo mejor y que Dios les bendiga en todas las áreas de sus vidas.

**Jaime**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xiii
ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Biomasa.....	4
1.1.1 <i>Clasificación</i> .....	4
1.2 Estiércol.....	5
1.2.1 <i>Composición del estiércol</i> .....	5
1.2.2 <i>Usos potenciales del estiércol</i> .....	6
1.2.3 <i>Ventajas y desventajas del estiércol</i> .....	7
1.2.3.1 <i>Ventajas del estiércol</i> .....	7
1.2.3.2 <i>Desventajas del estiércol</i> .....	7
1.2.4 <i>Acción del estiércol en el suelo</i> .....	8
1.3 Gallinaza.....	9
1.3.1 <i>Nutrientes de la gallinaza</i> .....	9
1.3.2 <i>Microorganismos y productos farmacéuticos en la gallinaza</i> .....	10
1.4 Biogás.....	11
1.4.1 <i>Composición</i> .....	11
1.4.2 <i>Características</i> .....	12
1.4.3 <i>Uso del biogás</i> .....	13
1.4.4 <i>Factores que afectan la producción de biogás</i> .....	14
1.5 Biol.....	14
1.6.1 <i>Ventajas del biol</i> .....	14

<b>1.6</b>	<b>Digestión anaerobia</b> .....	15
<b>1.6.1</b>	<b><i>Etapas de la digestión anaeróbica</i></b> .....	16
1.6.1.1	<i>Hidrólisis</i> .....	16
1.6.1.2	<i>Acidogénesis</i> .....	17
1.6.1.3	<i>Metanogénesis</i> .....	17
<b>1.6.2</b>	<b><i>Factores influyentes en la degradación anaeróbica</i></b> .....	17
1.6.2.1	<i>Temperatura</i> .....	17
1.6.2.2	<i>Ph</i> .....	18
1.6.2.3	<i>Relación carbono/nitrógeno (c/n)</i> .....	19
1.6.2.4	<i>Tiempo de retención de biomasa</i> .....	20
1.6.2.5	<i>Contenido de sólidos</i> .....	20
1.6.2.6	<i>Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis</i> .....	21
<b>1.7</b>	<b>Biodigestor</b> .....	25
<b>1.7.1</b>	<b><i>Flujo de la materia orgánica en un digestor</i></b> .....	26
<b>1.7.2</b>	<b><i>Objetivo del biodigestor</i></b> .....	26
<b>1.7.3</b>	<b><i>Proceso dentro del biodigestor</i></b> .....	27
<b>1.7.4</b>	<b><i>Ventajas de los biodigestores</i></b> .....	27
<b>1.7.5</b>	<b><i>Desventajas de los biodigestores</i></b> .....	27
<b>1.7.6</b>	<b><i>Criterios a considerar en el diseño de un biodigestor</i></b> .....	28
<b>1.7.7</b>	<b><i>Clasificación de los digestores</i></b> .....	28
<b>1.7.8</b>	<b><i>Modelo de biodigestores</i></b> .....	31
<b>1.7.9</b>	<b><i>Estructura de un biodigestor</i></b> .....	34

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	39
<b>2.1</b>	<b><i>Ubicación geográfica del lugar de la investigación</i></b> .....	39
<b>2.2</b>	<b>Muestreo</b> .....	40
<b>2.2.1</b>	<b><i>Selección de muestra y cuantificación</i></b> .....	40
<b>2.2.2</b>	<b><i>Método</i></b> .....	41
<b>2.3</b>	<b>Pruebas de laboratorio</b> .....	42
<b>2.4</b>	<b>Modelo experimental a escala</b> .....	46
<b>2.4.1</b>	<b><i>Tiempo de retención</i></b> .....	46
<b>2.4.2</b>	<b><i>Volumen de biogás</i></b> .....	47
<b>2.4.3</b>	<b><i>Prueba de flama</i></b> .....	48
<b>2.5</b>	<b>Datos adicionales</b> .....	48

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR</b> .....	49
<b>3.1</b>	<b>Determinación de la cantidad del sustrato</b> .....	49
<b>3.2</b>	<b>Cálculos del diseño</b> .....	50
<b>3.2.1</b>	<i>Cálculo de la generación de estiércol de la granja</i> .....	50
<b>3.2.2</b>	<i>Cálculo del volumen disponible de gallinaza</i> .....	52
<b>3.2.3</b>	<i>Volumen de biogás</i> .....	52
<b>3.2.4</b>	<i>Cálculo del tiempo de retención</i> .....	53
<b>3.2.5</b>	<i>Cálculo de la cantidad de mezcla</i> .....	53
<b>3.2.6</b>	<i>Cálculo del volumen del biodigestor</i> .....	54
<b>3.3</b>	<b>Cálculos de la estructura del biodigestor</b> .....	55
<b>3.3.1</b>	<i>Cámara de digestión</i> .....	55
<b>3.3.2</b>	<i>Cámara de alimentación y descarga</i> .....	56
<b>3.3.3</b>	<i>Diseño de la cúpula</i> .....	56
<b>3.3.4</b>	<i>Compuerta de limpieza</i> .....	58
<b>3.3.5</b>	<i>Estructura de las tuberías de entrada y salida</i> .....	58
<b>3.3.6</b>	<i>Altura de la tubería en el biodigestor para conducir la carga diaria y salida de la misma</i> .....	59
<b>3.4</b>	<b>Determinación de la eficiencia</b> .....	60

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	62
<b>4.1</b>	<b>Resultados de la cuantificación de gallinaza de la avícola “Bilbao”</b> .....	62
<b>4.2</b>	<b>Resultados de modelo a escala</b> .....	66
<b>4.2.1</b>	<i>Monitoreo del biodigestor a escala</i> .....	66
<b>4.2.2</b>	<i>Variación de temperatura</i> .....	68
<b>4.2.3</b>	<i>Producción de biogás</i> .....	68
<b>4.2.4</b>	<i>Resumen del biodigestor a escala</i> .....	70
<b>4.3</b>	<b>Criterios para la selección del diseño del biodigestor</b> .....	70
<b>4.3.1</b>	<i>Esquema del funcionamiento del biodigestor</i> .....	72
<b>4.3.2</b>	<i>Resumen del dimensionamiento del biodigestor</i> .....	73
<b>4.5</b>	<b>Conclusiones</b> .....	75
<b>4.6</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	76

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Composición química de principales estiércoles utilizados como abonos (%)	6
Tabla 2-1	Estimaciones sobre los contenidos de nutrientes de la gallinaza y las camas procedentes de gallinas y pollos (Kg/tonelada de heces excretada)	10
Tabla 3-1	Composición Química del Biogás	12
Tabla 4-1	Producción de Biogás por tipo de residuo animal	13
Tabla 5-1	Tabla de rangos de temperaturas de acuerdo al tipo de bacteria	19
Tabla 6-1	Tiempo de retención según la Región y Temperatura	201
Tabla 7-1	Valores y características del estiércol de algunos animales	21
Tabla 8-1	Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica	23
Tabla 9-1	Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico	24
Tabla 1-2	Determinación de la Temperatura	423
Tabla 2-2	Determinación de la Densidad	423
Tabla 3-2	Determinación de la viscosidad	434
Tabla 4-2	Determinación de la conductividad de la mezcla	434
Tabla 5-2	Determinación de los sólidos disueltos totales	45
Tabla 6-2	Determinación de los sólidos totales	45
Tabla 7-2	Datos experimentales para el dimensionamiento del biodigestor	48
Tabla 1-4	Cuantificación de la gallinaza útil (Semana 1)	61
Tabla 2-4	Cuantificación de la gallinaza útil (Semana 2)	61
Tabla 3-4	Cuantificación de la gallinaza útil (Semana 3)	61
Tabla 4-4	Determinación Promedio de la gallinaza útil	632
Tabla 5-4	Cuantificación de la gallinaza Total de la Avícola (Semana 1)	63
Tabla 6-4	Cuantificación de la gallinaza Total de la Avícola (Semana 2)	63
Tabla 7-4	Cuantificación de la gallinaza Total de la Avícola (Semana 3)	63
Tabla 8-4	Temperatura y Producción de Biogás	64
Tabla 9-4	Resultados de caracterización del biodigestor a escala	68
Tabla 10-4	Criterios de selección del tipo de biodigestor	69
Tabla 11-4	Dimensiones del biodigestor	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Etapas de la digestión anaerobia .....	16
Figura 2-1	Producción de biogás en función de la temperatura. ....	18
Figura 3-1	Clasificación de los reactores anaeróbicos.....	29
Figura 4-1	Biodigestor de pozo séptico .....	31
Figura 5-1	Biodigestor hindú .....	32
Figura 6-1	Biodigestor Chino .....	33
Figura 7-1	Digestor Horizontal.....	34
Figura 8-1	Cámara de Mezclado.....	34
Figura 9-1	Cámara de fermentación .....	35
Figura 10-1	Cámara de Salida .....	36
Figura 11-1	Cámara de almacenamiento de Biogás .....	36

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2	Ubicación Granja Avícola Bilbao .....	40
Gráfico 1-4	Cantidad de Gallinaza Util .....	64
Gráfico 2-4	Cantidad de Gallinaza Total .....	66
Gráfico 3-4	Variación de Temperatura .....	68
Gráfico 4-4	Volumen de Biogás .....	69
Gráfico 5-4	Esquema del funcionamiento del Biodigestor.....	72

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Ingreso al galpón para la recolección.....	81
Fotografía 2	Recolección de gallinaza fresca.....	80
Fotografía 3	Recolección de gallinaza semi-fresca.....	80
Fotografía 4	Llenado de la cubeta con gallinaza.....	80
Fotografía 5	Peso de la gallinaza semi-húmeda.....	81
Fotografía 6	Peso de la gallinaza húmeda.....	81
Fotografía 7	Materiales para la construcción Biodigestor a escala.....	82
Fotografía 8	Colocación del acople a la tapa.....	82
Fotografía 9	Unión cubierta de teflón.....	82
Fotografía 10	Unión entre el acople de la tapa y la salida a la manguera de gas....	82
Fotografía 11	Llenado del Biodigestor a escala.....	83
Fotografía 12	Pesaje de la gallinaza en el modelo a escala. ....	82
Fotografía 13	Medición de la temperatura del Biodigestor a escala.....	83
Fotografía 14	Toma de muestra para análisis.....	83
Fotografía 15	Interior de los galpones.....	84
Fotografía 16	Pastizales de la granja.....	84
Fotografía 17	Exterior de los galpones.....	84
Fotografía 18	Almacenamiento de la gallinaza.....	84

## ABREVIATURAS.

H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico
AGV	Ácidos grasos volátiles
H <sub>2</sub> O	Agua
H <sub>ci</sub>	Altura de la cúpula inferior
H <sub>cs</sub>	Altura de la cúpula superior
H <sub>t</sub>	Altura de la Tubería
HT	Altura total interna del biodigestor
Amb	Ambiente
NH <sub>4</sub>	Amonio
A	Ancho
Aesc	Ancho de las escaleras
Biodig.	Biodigestor
Ca	Calcio
CA	Cantidad de Agua
Cg	Cantidad de gallinaza
Cm	Cantidad de mezcla
Cre	Capacidad del recipiente
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Calcio
Cd	Carga diaria
COV	Carga orgánica volumétrica
CN <sup>-</sup>	Cianuro
NaCl	Cloruro de sodio
Cu	Cobre
Cr	Cromo
Δg	Densidad de gallinaza
D	Diámetro
D	Diámetro interior
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
P	Fósforo
°C	Grados Celsius

H <sub>2</sub>	Hidrógeno
Kg	Kilogramos
Lb	Libra
Ln	Logaritmo natural
L	Longitud
Lcam	Longitud de la cámara
Lesc	Longitud de las escaleras
Mg	Magnesio
CH <sub>4</sub>	Metano
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m.o.	Microorganismos
ml	Mililitro
ms	Mili siemens
CO	Monóxido de carbono
Ni	Níquel
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
N	Nitrógeno
N <sub>2</sub>	Nitrógeno
#bc	Número de baldes para llenar una carretilla
#cs	Número de carretilladas a la semana
K <sub>2</sub> O	Oxido de potasio
O <sub>2</sub>	Oxígeno
Ppm	Parte por millón
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Penta-óxido de fósforo
PgT	Peso de gallinaza total
PgU	Peso de gallinaza útil
Pc	Peso de una carretillada
Pbg	Peso del balde con gallinaza
Pb	Peso del balde vacío
PVC	Poli Cloruro de vinilo
K	Potasio
PBR	Producción de biogás real

PBT	Producción de biogás teórica
r	Radio
r2	Radio del arco de la cúpula inferior
r1	Radio del arco de la cúpula superior
C/N	Relación carbono nitrógeno
Na	Sodio
SO	Sólidos orgánicos
ST	Sólidos totales
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Sulfato
TR	Tiempo de retención
TRHex	Tiempo de retención experimental
TRH	Tiempo de retención hidráulico
UTM	Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas)
V	Volumen
Vcd	Volumen de la cámara de digestión
Vci	Volumen de la cúpula inferior
Vcs	Volumen de la cúpula superior
Vs	Volumen de seguridad
VST	Volumen de sólidos totales
Vs	Volumen del sustrato
Vdg	Volumen disponible de gallinaza
VT	Volumen total del biodigestor
Zn	Zinc

## RESUMEN

En la presente investigación se diseñó un biodigestor para la obtención de biogás y bioabono (biol) a partir de las excretas provenientes de las gallinas de la granja avícola Bilbao, ubicada en la parroquia Cotaló del cantón Pelileo provincia de Tungurahua. Aplicando una técnica de cuantificación, se llevó a cabo un muestreo de la gallinaza generada en los galpones de la granja, se utilizó una bolsa tipo “ziploc”, mascarilla y guantes para la recolección. Para el dimensionamiento, se realiza un prototipo a escala, esto permite medir parámetros como la temperatura dentro del biodigestor y el volumen de biogás producido, el tiempo de retención obtenido fue de 45 días, una vez transcurrido este tiempo se logró determinar la presencia de biogás (CH<sub>4</sub>) al obtener una flama de color azul, para la construcción el modelo a escala los materiales utilizados fueron: una caneca o recipiente plástico de 20 litros, manguera de conducción de gas. El biorreactor tipo Chino fue seleccionado para aplicarse en la granja avícola Bilbao, en el dimensionamiento se utiliza un factor de seguridad del 5%-10% dependiendo las cámaras, el tiempo de retención obtenido fue de 45 días, los cálculos arrojaron los siguientes resultados: Volumen Total del biodigestor: 41.24m<sup>3</sup>; Altura del Biodigestor: 4.22m; Diámetro del biodigestor: 3.8m; Diámetro final: 4m, Altura de la cúpula superior: 0.75m; Altura de la cúpula inferior:0.48m, Cámaras de alimentación y salida del biodigestor: 0.8m por lado y de profundidad, la producción de gas diaria aproximada es 25.78m<sup>3</sup>. Con el diseño de este biodigestor y su posterior construcción, se pretende reducir los impactos que produce la gallinaza originada en la granja, principalmente la generación de vectores que pueden afectar a los trabajadores de la granja, como a la población general. Se recomienda ejecutar este proyecto como una alternativa al manejo actual que se da a la gallinaza, para poder aprovechar de mejor manera, esto beneficiará tanto al plantel, la comunidad y al medio ambiente.

### Palabras Claves:

<TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <GALLINAZA>, <BIODIGESTOR>, <VECTORES CONTAMINANTES>, <BIOGÁS>

## SUMMARY

The present research designed a biodigester to produce biogas and compost (biol) from excreta of hens in the poultry farm Bilbao, located in the Parroquia Pelileo; Cotaló Country, Tungurahua provinces through a quantification technique. It carried out in order a sampling of the poultry manure generated in the sheds of the farm and the collection used a bag “Ziploc” type, mask and gloves. For its sizing, a prototype was done to scale, which allows measuring parameters such as: temperature within the biodigester, the volume of biogas produced and the retention time obtained was 45 days; after this time, it determined the presence of biogas ( $\text{CH}_4$ ) obtaining an blue flame. In the construction of the scale model used the following materials: a 20-litre plastic tank and gas hose. The bioreactor Chinese type was selected to be applied in the poultry farm Bilbao; in the sizing process used a safety factor of 5% - 10% depending the chambers, the retention time obtained was 45 days and the calculations showed the following results: Total volume of biodigester  $41.24\text{m}^3$ , Biodigester Height: 4.22m, Biodigester diameter 3.8m; Final diameter 4m, the upper dome height 0.75m, the height of the lower dome 0.48m, exit and feed chambers of the biodigester 0.8m per side and depth, and daily gas production is approximately  $25.78\text{m}^3$ . with this digester design and its subsequent construction tries to reduce the impacts that the poultry manure on the farm produces, mainly the generations of vectors that can affect farm workers and the general population. It recommends to implement the projects as an alternative for the current management given to the poultry manure in order to take better advantages; due to it will benefit to staff, community and the environment.

### Keywords:

<TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <POULTRY >, <MANURE>, <BIODIGESTER>, <CONTAMINANTS>, <BIOGAS>

## **INTRODUCCIÓN**

Las fuentes de energía actuales, han resultado nocivas, perjudiciales, tanto para el ambiente como para el hombre, además se sabe que la mayor parte de estas fuentes provienen directa o indirectamente del petróleo, lo que genera preocupación debido a las reservas existentes en el mundo; esta temática ha impulsado el interés de buscar nuevas fuentes de energía, de origen no petroquímico, lo que ha permitido que surjan investigaciones que aportan nuevas alternativas respecto a la demanda energética del mundo y el país.

Una de esas alternativas es aprovechar la biodigestión de desechos orgánicos, tales como las excretas de animales, o residuos de origen degradable como son: los desechos de cocina, o los residuos vegetales; esto por medio del funcionamiento de un biodigestor, que transforma los residuos en energía.

En la provincia de Tungurahua, principalmente en el cantón Pelileo se encuentran ubicadas varias granjas avícolas, destacándose la parroquia de Cotaló en la cual la avicultura es una de las principales actividades del sector, las personas dedicadas a esta labor, tienen inconvenientes con la acumulación de las excretas conocidas como “gallinaza”, la que si bien es cierto tiene un control, tiende a generar vectores que afectan a las aves y a las personas.

Esta investigación está enfocada en el diseño de un biodigestor para la granja avícola “Bilbao”, debido a la cantidad de estiércol generado por las aves del plantel, usando conocimientos ingenieriles, a través de digestión anaerobia, optimización de pH, temperatura, tiempo de retención, se dará un aprovechamiento descomponiendo y transformando en compuestos menos nocivos y beneficiosos como son el biogás y abono (biol).

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

La falta de tratamiento a varios desechos, generados por las actividades que el hombre emprende para su beneficio, afecta al medio ambiente, esto se vuelve notorio cada día mediante los cambios drásticos que se presentan en el clima.

Entre las actividades responsables de estos cambios está la actividad agropecuaria, y una de sus ramas es la avicultura, que genera beneficios, pero a su vez también genera desperdicios como son las excretas, se debería realizar un tratamiento alternativo a los excrementos de las gallinas, ya que puede generar problemas que afectarían tanto a las aves, a las personas que trabajan en los planteles avícolas, así como a la calidad del producto y al medio ambiente en general.

La provincia de Tungurahua se caracteriza por su economía en desarrollo a través de diferentes actividades, entre las que se destaca la avicultura, principalmente en el cantón Pelileo en donde se encuentran ubicadas varias granjas avícolas, resaltando la parroquia Cotaló, donde la mayor parte de la población se dedica a esta actividad.

Esta investigación se centra en el problema que se origina en la granja avícola “Bilbao”, el cual es la producción de desechos sólidos consecuentes del metabolismo de las gallinas, que tienden a acumularse en las instalaciones del establecimiento.

El problema se presenta debido a la falta de una disposición final adecuada, la falta de un sistema de cuantificación, el déficit de un tratamiento adecuado del subproducto, se conoce que la gallinaza es un fertilizante que cuenta con mayor concentración que el estiércol de vaca, debido a la alimentación que reciben los pollos y que son a base de balanceados concentrados, los cuales contienen mayores nutrientes que aquellos que consume la vaca, si bien es cierto al aplicarse directamente en los terrenos, produce beneficios como problemas, ya que genera malos olores, un exceso de Nitrógeno en el suelo, que causa la muerte de la biota microbiana desfavoreciendo la producción de cultivos, y así como puede ocurrir infiltración de nitritos y contaminar fuentes de agua subterráneas. Por lo que se debe tener en cuenta que hay una alternativa, con lo cual surge una pregunta:

¿Cómo se puede obtener un beneficio diferente, a partir de las excretas generadas en la granja avícola “Bilbao”?

Es decir que a parte del problema del mal olor originado en las excretas también pueden aparecer plagas como moscas, ratones, escarabajos, entre otros que propagan enfermedades tanto para las aves, y a los seres humanos que trabajan en la granja o habitan en los alrededores de la avícola, así también puede generarse una contaminación al suelo por sobrecarga de nutrientes producido por el Nitrógeno de las excretas, contaminación de recursos hídricos por eutrofización.

Con esta investigación se pretende dar una alternativa del uso de las excretas de las gallinas, la cual es la obtención de biogás por medio del diseño de un biodigestor para la granja avícola, con lo que se supondría un beneficio para la empresa como para la comunidad, ayudando a reducir

las molestias que ocasiona los malos olores, la aparición de vectores como moscas, ratones, entre otros, y además obteniendo biogás y bioabono que se puede utilizar a nivel industrial si es factible.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Diseñar un Biodigestor para la obtención de biogás a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la granja avícola “Bilbao”.

### **ESPECÍFICOS.**

- Determinar la cantidad de los residuos sólidos generados por el metabolismo de las gallinas de postura en la granja avícola “Bilbao”.
- Determinar cuáles son los parámetros óptimos, y efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño adecuado del biodigestor.
- Seleccionar el tipo de biodigestor apropiado, de acuerdo a las demandas existentes dentro y fuera de la granja avícola Bilbao.
- Determinar la eficiencia de producción de biogás, que planteará un punto de partida para la producción a mayor escala.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Biomasa.

La biomasa es el nombre que se le da a cualquier materia orgánica que tiene un origen procedente de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva del material de vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales. (Biomasa, 2014)

Es una fuente de energía renovable, que ha sido usada por el ser humano desde tiempos antiguos, cuando los primeros humanos descubrieron la combustión por medio del fuego.

#### *1.1.1 Clasificación.*

Teniendo en cuenta el punto de vista ecológico se puede ordenar a la biomasa en tres órdenes:

- **Biomasa primaria:** es la materia orgánica constituida directamente por los seres autótrofos, (algas, plantas verdes y demás productores fotosintéticos). A este grupo comprende toda la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas así como residuos forestales.
- **Biomasa secundaria:** es la materia producida por los seres heterótrofos, que usan en su alimentación a partir de la biomasa generada por los autótrofos (biomasa primaria).
- **Biomasa terciaria:** es la materia producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, como el caso de los depredadores que generalmente se alimentan de la carne de animales herbívoros (biomasa secundaria). (MÉNDEZ, 2008)

## **1.2 Estiércol.**

Es una mezcla de materias orgánicas descompuestas (materia fecal y alimento expulsado), que proviene de la excreción metabólica de los animales, puede contener restos de alimentos no digeridos, y precursores que intervienen en la digestión como son jugos gástricos, enzimas, mucosa intestinal, bacterias vivas y muertas del intestino y productos del desecho metabólico. (Durán, 2011)

El uso del estiércol en el suelo aporta nutrientes, mejora la retención de humedad, ayuda al incremento de la actividad biológica y microbiológica, en general mejora las propiedades del suelo, volviéndolo más fértil y productivo.

### ***1.2.1 Composición Del Estiércol.***

El estiércol no es un abono de composición estable. Ya que depende de la edad de los animales que la producen, de la especie, la alimentación a la que están sujetos, el fin al que están sometidos, la naturaleza y constitución de camas, etc.

Por ejemplo un animal joven consume mayor cantidad de nitrógeno (N) y fósforo (P) que un animal viejo; las deposiciones que realizan contienen una menor cantidad de esos elementos, ya que son absorbidos en la etapa de su desarrollo, mientras que los animales viejos habiendo finalizado su etapa de desarrollo, asimilan de los alimentos, únicamente lo necesario necesarias para restablecer las pérdidas, energéticas; por lo tanto proporcionan estiércoles con mayores cantidades y propiedades fertilizantes.

En las propiedades y composición del estiércol influye el tipo de alimentación y la cantidad a la que están sujetos los animales, como balanceados en base de pescado, balanceados enriquecidos con vitaminas, pastos, granos, etc.

Mientras mayor sea la cantidad de dichos elementos en los alimentos, mayor será la cantidad de los mismos, presentes en los excrementos. Las camas en las que se agrupa el estiércol, también influye, según el área, la ubicación, la cantidad, entre otros.

De acuerdo a las propiedades y la cantidad de nutrientes que disponen los diferentes tipos de estiércol, se puede ordenar de la siguiente manera.

- Estiércol ovino.
- Gallinaza.
- Estiércol equino.
- Estiércol bovino.
- Estiércol porcino.

Tabla 1-1 Composición química de principales estiércoles utilizados como abonos (%)

FUENTE	TIPO	SUSTANCIA ORGÁNICA	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Bovino	Líquida	5	1.0	0.1	1.6
Bovino	Sólida	18	0.4	0.2	0.1
Bovino	Mixta	10	0.6	0.2	0.1
Equino	Líquida	7	1.2	0.1	1.6
Equino	Sólida	23	0.5	0.3	0.3
Ovino	Líquida	8	1.6	0.1	2.3
Ovino	Sólida	30	0.6		0.3
Porcino	Líquida	2	0.3	0.4	0.9
Porcino	Sólida	16	0.6		0.3
Gallinaza	Sólida	25	1.4	0.1	2.1

Fuente: (Durán, 2011)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### ***1.2.2 Usos Potenciales Del Estiércol.***

El uso del estiércol durante varias generaciones agropecuarias, ha sido como abono orgánico, mediante la elaboración de compost, práctica que permite obtener un fertilizante libre de bacterias patógenas, además ayuda neutralizando malos olores, disminuyendo y transformando sustancias químicas, y generando propiedades húmicas semejantes a la del suelo, mejorando la fertilización y producción de cultivos.

El estiércol tiene otro uso potencial a parte de la elaboración de compost, se lo puede implementar en la obtención y producción de biogás y fertilizantes líquidos (biol), mediante un proceso anaeróbico de degradación y transformación de los componentes del estiércol, el biogás que se obtiene está compuesto de varios gases entre ellos el metano, el cual es altamente inflamable, si se pretende darle un aprovechamiento adecuado, mediante instalaciones de

tuberías, se puede utilizar como gas para cocinar, para calefacción e incluso para producir energía eléctrica.

Otro uso potencial además de los mencionados, es el de la elaboración de porciones alimenticias para el ganado vacuno, debido a la materia orgánica no digerida como son restos de celulosa, fibras de proteínas y carbohidratos presentes. Por lo que es fundamental realizar un tratamiento adecuado previo a la utilización de esta manera.

(LÓPEZ P, 2003)

### ***1.2.3 Ventajas Y Desventajas Del Estiércol***

#### ***1.2.3.1 Ventajas Del Estiércol***

- El uso del estiércol como abono orgánico, favorece la producción agrícola de calidad, reduciendo la aplicación de fertilizantes químicos.
- La agricultura y el medio ambiente se ven beneficiadas del uso del estiércol por medio del compostaje, ya que ayuda a resolver ciertos problemas como la poca fertilidad de los suelos y la excesiva acumulación del excremento, que genera problemas por medio de vectores.
- Un proceso de fermentación o compostaje del estiércol, genera un producto con mejores características que el estiércol puro, permitiendo que tenga un mayor grado de asimilación de nutrientes para las plantas y cultivos agrícolas, generando ventajas en el sector agropecuario.
- Los suelos se ven beneficiados por el uso del estiércol, ya que al ser un producto natural y orgánico, permite que los suelos y la capa fértil se vean menos estresados frente a los productos químicos.

#### ***1.2.3.2 Desventajas Del Estiércol***

- La principal desventaja es generada por la intensiva actividad pecuaria en las zonas rurales la acumulación excesiva del estiércol y su inadecuada disposición final, que conlleva a impactos al medio ambiente, como la propagación de enfermedades que afectan directamente a los animales e indirectamente a las personas que se dedican a estas actividades.
- Dependiendo de la dieta que a la que se someten los animales, el estiércol puede contener cantidades de antibióticos, pesticidas, larvicidas etc. Que puede generar bioacumulación

afectando a los suelos, su microbiota, y por consiguiente a los cultivos que son consumidos por el ser humano.

- Si se desea utilizar el estiércol como abonos orgánicos, los ganaderos necesitan tener conocimientos, como también de maquinaria para realizar los volteos del material y producir un compost de gran calidad. (Durán, 2011)

#### ***1.2.4 Acción Del Estiércol En El Suelo.***

Tiene una acción benéfica, esencialmente proveyendo nutrientes, y mejorando las propiedades del suelo, aumentando considerablemente el contenido y la calidad de la materia orgánica.

Una buena calidad del estiércol, está en relación a la especie animal, la alimentación generada por los ganaderos, y la zona donde se los cría, esto eleva su composición entre un 30 y 80% de los tenores orgánicos, aplicando de forma constante y en reiteradas ocasiones, el estiércol puede elevar el contenido de humus en el suelo, aumentando la actividad microbiana.

El estercolado actúa positivamente sobre la condición física de los suelos, se han logrado importantes disminuciones de la densidad aparente, aumento de los espacios intersticiales del suelo, la macro porosidad y mejoras en la capacidad de retención de agua, mediante la incorporación de varios tipos de estiércol al suelo.

El estiércol produce un resultado propicio en la condición orgánica del suelo, debido a la gran actividad microbiana que posee. Éstas producen transformaciones químicas en el suelo y el estiércol, haciendo que muchos elementos no aprovechables por las plantas puedan ser asimilados, aumentando la actividad y población de especies de la fauna edáfica.

Los estiércoles son considerados como fertilizantes orgánicos naturales, pues muchas campesinos optan por los fertilizantes químicos industriales, pues demuestran mayor eficacia en un corto tiempo al ser empleados en los cultivos y los suelos, lo que no se puede mencionar lo mismo del fertilizante natural, pues estos demuestran buenos resultados a largo plazo, manteniendo el suelo agrícola apto para el cultivo. (LÓPEZ P, 2003)

### **1.3 Gallinaza**

Se llama Gallinaza al estiércol de gallina preparado para ser utilizado en la agricultura como fertilizante.

La Gallinaza proviene de la cría de gallinas para la producción de huevos. No se debe confundir con el estiércol llamado Pollinaza, este proviene de la crianza de pollos encaminados para el consumo de su carne. Su alimentación es diferente, por lo que la composición del estiércol es distinta y como resultado directo sus cualidades fertilizantes también.

Pasa exactamente igual, al tratar de mantener la semejanza con el Guano proveniente de aves marinas. Pero tampoco se puede comparar ya que la alimentación de las gallinas es rica en granos (vegetales), mientras que las aves productoras de guano tienen una dieta rica en proteínas proveniente del pescado (animales).

La Gallinaza es considerada un abono orgánico natural, por lo que se puede utilizarla junto con otros ingredientes en forma de compost.

Hay que tener en cuenta que este producto, primeramente debe ser fermentado para que se puedan transformar y liberar los compuestos químicos presentes en el estiércol y así reducir la concentración de amoníaco y otros elementos que pueden resultar nocivos para los cultivos. (Asociación Española de Fabricación de Agronutrientes, 2009)

La cantidad y características de la gallinaza dependen de la especie, la edad, la dieta y la salud de las aves, así como de las prácticas de gestión agrícola. “Las estimaciones de heces excretadas por 1000 aves al día basadas en el promedio de peso diario vivo durante el ciclo de producción de las aves) se sitúan en torno a 120 kg para las gallinas ponedoras, 80 kg para los pollos de carne, entre 200 y 350 kg para los pavos (hembras en fase de Crecimiento y machos pesados en fase de crecimiento, respectivamente)”. (WILLIAMS, 2010)

#### ***1.3.1 Nutrientes De La Gallinaza***

Gracias a bibliografía científica se tiene información fiable respecto a los productos químicos y composición física de la gallinaza como se muestra a continuación en la tabla

Tabla 2-1 Estimaciones sobre los contenidos de nutrientes de la gallinaza y las camas procedentes de gallinas y pollos (Kg/tonelada de heces excretada)

	<b>Nitrógeno</b>	<b>Fósforo (como pentóxido de fósforo)</b>	<b>Cobre (Cu)</b>	<b>Zinc (Zn)</b>
Gallinaza de gallinas ponedoras	13.5	10.5	0.01	0.07
Gallinaza de pollos para carne	13	8.0	0.01	0.04
Cama de pollos de engorde	35.5	34.5	0.26	0.36

Fuente: (WILLIAMS, 2010)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Las maneras en que se almacena la gallinaza por medio de camas influyen en algunas concentraciones de nutrientes. Así, por ejemplo, puede desaprovecharse en la atmósfera una importante cantidad de amoníaco en las zonas expuestas a las lluvias o aguas subterráneas. El almacenamiento en estas condiciones no es ambientalmente adecuada ni establece una forma eficiente de conservación de nitrógeno para el crecimiento de los cultivos.

### ***1.3.2 Microorganismos Y Productos Farmacéuticos En La Gallinaza.***

En la gallinaza y las camas de las aves de corral hay poblaciones de microorganismos que están presentes de forma natural. Muchos de estos microorganismos son ambientalmente beneficiosos y cumplen una función importante en los procesos ecológicos de los ciclos de nutrientes asociados con el carbono (C), el nitrógeno (N), el fósforo (P), el azufre (S) y otros elementos de los subproductos avícolas.

Sin embargo, en función de la gestión y las condiciones ambientales, la gallinaza y las camas de aves de corral pueden contener también m.o. patógenos que pueden ser perjudiciales para la salud humana. En la gallinaza y las camas puede haber también residuos químicos de productos farmacéuticos y veterinarios, esto depende de la formulación en de los balanceados que ingieren las aves, las prácticas de gestión y la reglamentación de las empresas de producción avícola de una determinada región, (antibióticos y larvicidas). (WILLIAMS, 2010)

## **1.4 Biogás**

El biogás es un gas combustible generado artificialmente mediante un proceso biológico constante en la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno), por medio de un tipo de bacterias específicas, que degradan la materia orgánica. Del resultado de la digestión se obtiene un residuo orgánico (biofertilizante) y biogás. (Planta de Biogas, 2010)

El biogás puede proporcionar una fuente limpia de energía, y permite el aprovechamiento de residuos que por falta de una cultura ambiental se tienden a desechar, como el caso de desechos orgánicos, por lo que se genera una energía renovable, se puede obtener a nivel informal como en casas, granjas o a niveles industriales dependiendo la cantidad de materia presente y la mano de obra, es una alternativa viable que sustituye los combustibles fósiles (que cada vez son más caros así como la oferta y demanda). En el proceso de conversión de la materia orgánica a biogás, los niveles de patógenos se reducen y los nutrientes de las plantas se hacen más fácilmente disponibles. (HARRIS, 2014)

Desde unidades de pequeña escala pueden ser relativamente simples para construir y operar el biogás, debe utilizarse directamente si es posible (para cocinar, calefacción, iluminación y refrigeración por absorción), ya que tanto la generación de electricidad y la compresión de gas (para el almacenamiento o la utilización en vehículos) utilizar grandes cantidades de energía para una pequeña salida de energía útil. Este concepto es adecuado para sistemas de "distribuidos" donde los residuos son tratados cerca de la fuente, y los lodos se reutiliza también localmente, para reducir al mínimo el transporte y el costo de capital inicial en comparación con un sistema de "centralizada". A medida que el sistema distribuido se necesita un soporte de red de biogás contribuye a la "triple cuenta de resultados"; beneficia al medio ambiente, la reducción de costes y contribuyendo a la estructura social. (HARRIS, 2014)

### **1.4.1 Composición**

La composición del biogás está determinada de acuerdo al tipo de biomasa utilizada y las condiciones ambientales en que se produce, sin embargo todo biogás tiene como principales componentes el metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El metano es el principal compuesto del biogás y este le otorga las características inflamables que posee, es un gas muy combustible, incoloro e inodoro, cuya combustión genera una llama de color azul, además emite elementos prácticamente no contaminantes. (REVOLORIO, 2010)

Tabla 3-1 Composición Química del Biogás

COMPONENTES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Bióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	Hasta 1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5-3
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

Fuente: (ALBARRACÍN, 1995)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

#### 1.4.2 Características.

El biogás tiene menor densidad que el aire, por lo que es un poco más liviano que el aire y cuenta con una temperatura de inflamación de cerca de 700° C, y la temperatura de su llama alcanza los 870° C. El biogás está compuesto por alrededor de 60% de Metano (CH<sub>4</sub>) y 40% de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

El biogás contiene la mínima cantidad de otros componentes, entre otros, 0.1% de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). (DIBLACI, 2004)

La cantidad de metano presente en el biogás depende principalmente de la temperatura de fermentación, a bajas temperatura de fermentación se obtiene un alto porcentaje de gas metano, pero las cantidades de gas son menores.

El porcentaje de metano además depende del material de fermentación llegando a alcanzar, en diferentes sustratos los siguientes valores aproximadamente:

Estiércol de gallina.....	60%
Estiércol de cerdo.....	67%
Estiércol de establo.....	55%
Pasto.....	70%
Desperdicios de cocina.....	50%

(DIBLACI, 2004)

Tabla 4-1 Producción de Biogás por tipo de residuo animal

ESTIÉRCOL (PESO DE ANIMAL VIVO)	DISPONIBILIDAD KG/DÍA	VOLUMEN DE BIOGÁS	
		m <sup>3</sup> /kg húmedo	m <sup>3</sup> /día/año
Bovino (500kg)	10.0	0.04	0.400
Porcino (50kg)	2.25	0.06	0.135
Aves (2kg)	0.18	0.08	0.014
Ovino (32kg)	1.5	0.05	0.075
Caprino (50kg)	2.0	0.05	0.100
Equino (450kg)	10.0	0.04	0.400
Conejo (3kg)	0.35	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	0.06	0.025

Fuente: (VARNERO, 2011)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### 1.4.3 Uso Del Biogás

El biogás al ser industrializado puede ser utilizado como una forma de energía alternativa al ser quemado como combustible en un amplio rango de artefactos, la ventaja principal es que al realizarse su combustión llega a descomponerse en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Entre los diferentes usos para el biogás producido por digestión anaerobia, están:

- La generación de calor o electricidad mediante una caldera
- Generar electricidad mediante el uso de motores y turbinas.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H<sub>2</sub>S y otros contaminantes de las membranas.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción. (Biomasa: Digestores anaerobios, 2007)

#### ***1.4.4 Factores que afectan la producción de biogás.***

Existen varios factores que influyen en la producción del biogás, en el proceso que implica la actividad metabólica de los microorganismos, estos factores pueden alterar su conversión anaerobia. (VARNERO, 2011)

Entre ellos tenemos factores importantes que deben ser tomados en cuenta, los cuales son:

- Tipo de sustrato (materia prima).
- Temperatura del sustrato.
- Tiempo de retención.
- Nivel de pH.
- Relación C/N.
- Concentración del sustrato.
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso. (VARNERO, 2011)

#### **1.5 Biol**

El biol es un abono orgánico en estado líquido, se origina a partir de la degradación de la materia orgánica, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre otros, el proceso para su transformación se realiza en ausencia de oxígeno (proceso anaerobio). Contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas, brindándoles más resistencia y fertilidad. La técnica que se emplea para obtener biol es por medio de biodigestores.

Al ser generado en un biodigestor, atraviesa un proceso en el que luego de la degradación de la materia orgánica y la obtención de biogás, el mismo que empuja el abono líquido hacia fuera de la cámara de digestión, tras salir del biodigestor, este material ya no tiene un aroma fuerte, y no atrae vectores (insectos, ratas) como el caso del estiércol sin procesar. El biol como abono es una fuente de fitoreguladores que ayudan a las plantas a tener un óptimo desarrollo, generando mayor productividad a los cultivos. (Sistema Biobolsa, 2016)

##### ***1.6.1 Ventajas del biol***

- El biol es un producto biológicamente estable, rico en humus y con una carga baja de patógenos, tiene actividad biológica muy buena, ayuda al desarrollo de fermentos nitrosos y

nítricos, a la micro-flora, hongos y levaduras que serán un excelente complemento a suelos improductivos o desgastados.

- El biol tiene un alto contenido de materia orgánica, una vez agregado al suelo suministra materia orgánica que resulta fundamental en la formación y evolución de los suelos, además constituye una reserva de nitrógeno. La cantidad y calidad de la materia orgánica tendrá un papel influyente en procesos físicos, químicos y biológicos lo que demuestra el rol que tiene en la fertilidad de los suelos. La mezcla de estos efectos producirá un mejor rendimiento en los cultivos que se aprovechen en ese suelo. Las propiedades de fertilización del biol son mayores a la del estiércol fresco y al estiércol procesado por compostaje, debido a que el nitrógeno es convertido en amonio ( $\text{NH}_4$ ), el cual es transformado a nitratos.

- El biol mejora y aumenta la reserva de nutrientes del suelo, aumenta la capacidad hídrica, y crea un micro clima adecuado para las plantas.

Debido a su contenido de fitoreguladores promueve actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de las plantas, favorece su enraizamiento, alarga la fase de crecimiento de hojas (quienes serán las encargadas de la fotosíntesis), mejora la floración, activa el vigor y poder germinativo de las semillas. Todos estos factores resultaran en mayor productividad de los cultivos y generación de material vegetal.

- El biol puede aumentar la producción agrícola desde un 30 hasta un 50%, además que protege de insectos y recupera los cultivos afectados por heladas. (Sistema Biobolsa, 2016)

## **1.6 Digestión Anaerobia.**

“La digestión anaerobia es la degradación biológica u oxidación del material orgánico, donde interviene microorganismos específicos en ausencia de aire (oxígeno molecular). Durante este proceso el material a degradar (sustrato) se transforma en dos productos utilizables, el uno en un producto estable e inerte llamado biol y el otro en biogás con un alto contenido de metano, ambos productos de este proceso poseen cualidades energéticas”. (GARCÍA, 2009)

En el proceso de degradación anaerobia interactúan diferentes grupos microbianos, convirtiéndolo en un proceso complejo de degradación de materia orgánica, de manera estructurado y secuencial.

La intensidad y la duración del proceso varía de acuerdo a las condiciones en las que se desarrollan las bacterias, entre estos destacan la temperatura tiempo de retención la concentración de los residuos y el pH de la materia orgánica a ser degradada.

### 1.6.1 Etapas De La Digestión Anaeróbica.

La digestión anaeróbica es un ciclo que está formado por etapas donde actúan diferentes tipos de bacterias, en cada etapa se realizan transformaciones de la materia orgánica en diferentes compuestos. Las etapas se dividen en: (METCALF, 2003)

- Hidrólisis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

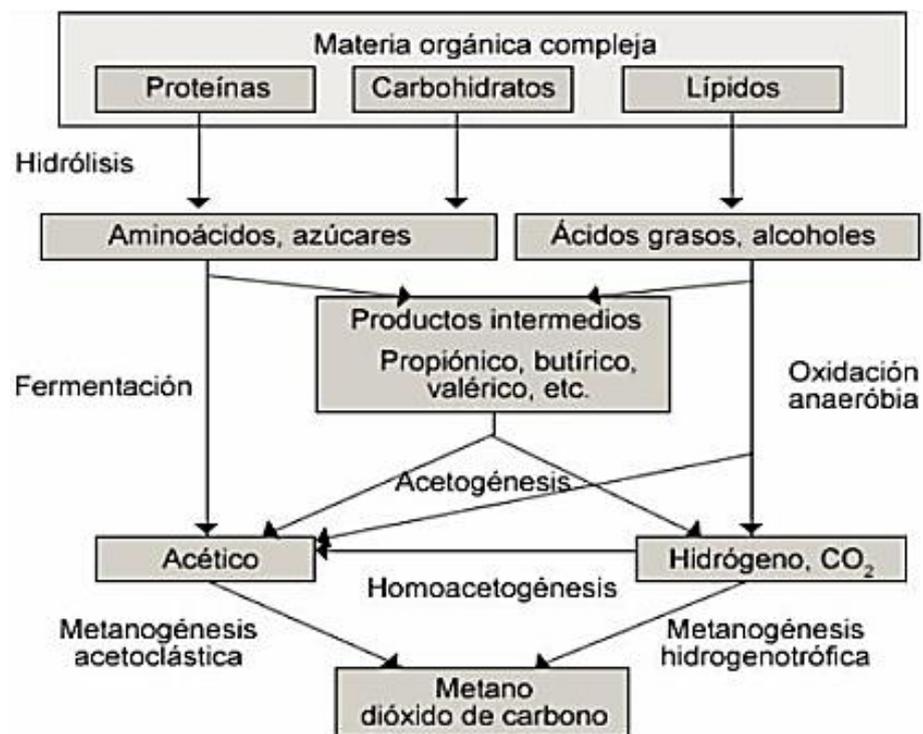


Figura 1-1 Etapas de la digestión anaerobia

Fuente: (GARCÍA, 2009)

Realizado por: Jaime Inca

#### 1.6.1.1 Hidrólisis.

Esta es la etapa donde los compuestos de mayor peso molecular son transformados o degradados en compuestos de menor peso molecular o menos complejos (monómeros), como el caso de la transformación de azúcares, alcoholes, ácidos grasos, entre otros; las proteínas, carbohidratos y grasas son transformados en compuestos solubles por acción de bacterias proteolíticas, celulíticas y lipolíticas, respectivamente. Esta etapa es importante en la

estabilización anaeróbica ya que suministrar los compuestos orgánicos necesarios, que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las etapas posteriores. (MONTES C, 2008)

#### *1.6.1.2 Acidogénesis.*

En esta etapa los monómeros de la etapa anterior son transformados, generándose ácidos grasos, principalmente ácido acético, propiónico, butírico y valérico; además las bacterias acetogénicas interactúan con las *Archaeas* metanogénicas ayudándose entre si, con el fin de transformar los ácidos grasos resultantes en los sustratos propios de la metanogénesis. (TOALA MOREIRA, 2013)

#### *1.6.1.3 Metanogénesis.*

En esta última etapa, entran en acción las bacterias metanogénicas, el hidrogeno y parte de los acetatos, son transformados en metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ). El amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) se estabiliza en forma de sales de amonio, permaneciendo por medio de esta forma todo el contenido inicial de nitrógeno original de la materia orgánica, que se ha sometido al proceso de biodegradación anaeróbica. Durante esta etapa el metabolismo bacteriano es más lento, y las bacterias son más sensibles a las condiciones ambientales a las que están expuestas. (TOALA MOREIRA, 2013)

### ***1.6.2 Factores influyentes en la degradación anaeróbica***

La degradación anaeróbica presenta factores que deben ser controlados, debido a que la digestión anaeróbica es sensible a las diferentes variaciones físicas químicas y bioquímicas que ocurren dentro del biorreactor. (MONTES C, 2008)

#### *1.6.2.1 Temperatura*

La temperatura es un parámetro fundamental para la digestión anaeróbica en promedio se ha demostrado que la temperatura dentro del proceso oscila entre los 20°-40°C, en los cuales el proceso no sufre de alteraciones absolutas, por consiguiente se trabaja en tres tipos de rangos de temperatura.

Es recomendable que se mantenga una temperatura entre los 30 y 38°C, ya que la actividad metabólica de las bacterias es mayor, lo que provoca un menor tiempo de retención. (Energía de la Biomasa., 2006)

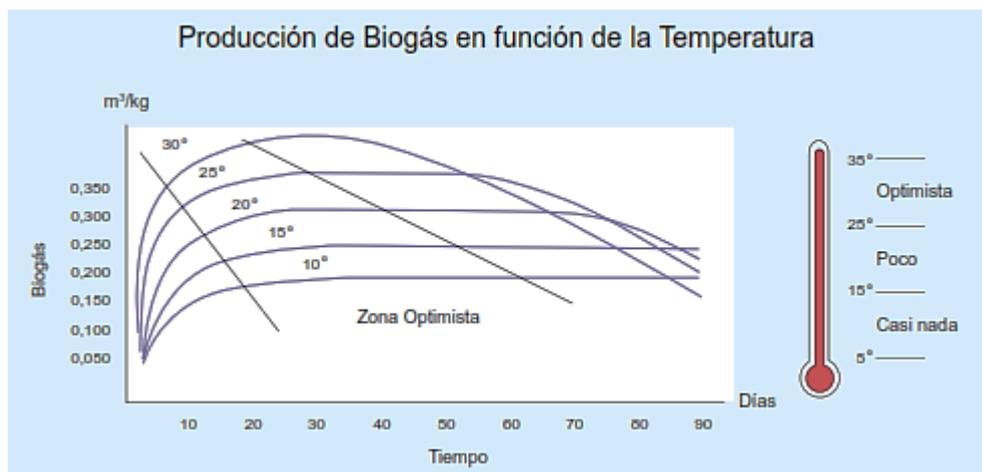


Figura 2-1 Producción de biogás en función de la temperatura.

Fuente: (VARNERO, 2011)

Si la temperatura supera los 60°C provoca la inhibición de las bacterias o su muerte, tampoco la temperatura debe ser menor a los 20°C ya que provocaría, que el tiempo de retención hidráulica se prolongue demasiado, dando lugar a que las bacterias puedan ser expulsadas fuera del sistema cerrado. (FINCK, 2009)

Tabla 5-1 Tabla de rangos de temperaturas de acuerdo al tipo de bacteria.

TEMPERATURA °C	MÍNIMO	MÁXIMO	ÓPTIMO
Psicrofilico	4-10	25-30	15-18
Mesofilico	15-20	35-45	28-33
Mesofilico	25-45	75-80	50-60

Fuente: (FINCK, 2009)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### 1.6.2.2 pH

Para que el proceso de degradación sea estable recomienda controlar el pH en un intervalo de 6 a 7.5, si el pH aumenta más de lo debido las bacterias se ven afectadas siendo inhibidas incluso llegando a la muerte, mientras que al disminuir el pH las cantidades de gas disminuyen, o el biogás generado es pobre en metano con mayor cantidad de dióxido de carbono, a la vez tiende a generar malos olores por el aumento de la producción de ácidos como el ácido sulfhídrico, por lo tanto las cualidades energéticas son bajas, si la situación no se corrige, el proceso eventualmente fallará. (VARGAS, 2006)

Una de las primeras opciones para resolver el problema es reducir la tasa de carga orgánica volumétrica, (COV) hasta el punto en el cual los Ácidos Grasos Volátiles se consuman más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV ha disminuido, el pH del sistema recupera los rangos normales de operación y la metanogénesis comienza a repuntar.

La COV puede incrementarse gradualmente hasta completar la capacidad de carga. En circunstancias extremas, además de la disminución de la carga orgánica volumétrica se puede suplementar algún químico para ajustar el pH.

El nivel de pH deseado del digestor se puede alcanzar ajustando el pH de las materias que entran al digestor o controlando el pH en el digestor por sí mismo, para conseguir el pH deseado, se debe conocer el tipo de químicos y la cantidad necesaria a adicionarse a las materias primas que ingresan al digestor, mientras que, en el otro caso, no se requiere ese conocimiento. (VARNERO, 2011)

#### *1.6.2.3 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)*

Para que la producción de biogás sea eficiente, las bacterias metanogénicas presentes en el sustrato, deben tener los nutrientes, suficientes para su desarrollo, principalmente se debe tener en cuenta que el Carbono y el Nitrógeno deben estar proporcionados de manera adecuada, ya que son elementos importantes en su metabolismo, siendo el Carbono utilizado como una fuente de energía, mientras que el nitrógeno contribuyendo durante el proceso, a la formación de nuevas bacterias.

Idealmente se busca una relación C/N de 30:1 hasta 20:1, estos valores se dan ya que si el nitrógeno se encuentra en cantidad menor a la necesaria, la velocidad de producción de biogás por parte de las bacterias metanogénicas se verá reducida, mientras que si éste se encuentra en exceso podría existir una excesiva producción de amoníaco el cual a más de ser tóxico para el sistema actúa como inhibidor del proceso.

Cabe recalcar que los residuos orgánicos vegetales cuentan con gran cantidad de carbono, pero una cantidad baja de nitrógeno, mientras que si hablamos de desechos de excretas animales, estos contienen grandes cantidades de nitrógeno en su estructura, conteniendo carbono en mucha menor cantidad; por lo cual es necesario mezclar ambos tipos de residuos a fin de obtener una relación C/N para una óptima producción de biogás en el digestor. (ALKALAY, 2014)

#### 1.6.2.4 Tiempo de retención de biomasa.

El tiempo de retención, se refiere al tiempo (normalmente dado en días) que la biomasa permanece dentro del biodigestor, permitiendo su degradación y transformación en bioabono y biogás.

El tiempo de retención se relaciona directamente con la velocidad a la cual la materia orgánica es degradada, y esta a su vez con la temperatura a la cual se realice dicho proceso (a mayor temperatura existirá una velocidad de degradación de materia orgánica más rápida y por tanto el tiempo de retención de biomasa requerido será menor).

En un sistema de carga diaria (régimen semicontinuo), el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, conocida como carga orgánica volumétrica.

“La Carga Orgánica Volumétrica es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el reactor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención fijado”. (VARNERO, 2011)

El tiempo de retención, va a ser diferente en cada sistema cerrado, ya que hay variaciones dependiendo de la zona en que se encuentre, como se explica en la siguiente tabla:

Tabla 6-1 Tiempo de retención según la Región y Temperatura

REGIÓN CARACTERÍSTICA	TEMPERATURA °C	TIEMPO DE RETENCIÓN (DÍAS)
TRÓPICO	30	15
VALLE	20	25
ALTIPLANO	10	60

Fuente: (Biomasa: Digestores anaerobios, 2007)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

#### 1.6.2.5 Contenido de Sólidos.

Toda la materia orgánica tiene dos fracciones, una fracción de agua y una fracción sólida llamada **sólidos totales** (ST). El porcentaje de sólidos totales presentes en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante que debe ser considerado para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. El crecimiento de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos, por lo tanto la eficiencia y producción de gas puede verse afectada.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos (tipo Batch), que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca. (VARNERO, 2011)

Tabla 7-1 Valores y características del estiércol de algunos animales

Clase de animal	% por peso vivo:		% del material de digestión		Relación C/N P	Producción de biogás (m3 de gas / 1 kg ST)	Relación Agua-Estiércol
	PE - Estiércol	PO - Orina	% ST Sólidos Totales	% SO Sólidos orgánicos			
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0.250	1:1
Cerdos	2	3	16	12	13	0.350	1:2
Caprinos, ovejas	3	1.5	30	20	30	0.200	1:2
Caballos	5	4	25	15	20	0.250	1:2
Avícolas, gallinas	4.5	4.5	25-65	17	5-8	0.200	1:1
Humanos	1	2	20	15	8	0.300	1:1

Fuente: (GTZ.Corporación Autónoma Regional del Cauca., 1987)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

#### 1.6.2.6 Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis

La digestión anaeróbica se ve inhibida o disminuida por la presencia de sustancias tóxicas dentro del sistema, estas sustancias pueden introducirse al sistema a través de las materias primas que entran al digestor, dentro de estas sustancias se encuentran el amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles; además dependen de su conformación química, la otra manera es que pueden originarse de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos, generando varias sustancias inhibidoras como el sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga.

En algunos casos, el daño del efecto tóxico, producto de una sustancia puede ser disminuido significativamente, mediante la adaptación de los microorganismos al tóxico. (VARNERO, 2011)

### **Ácidos grasos volátiles.**

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), puede inhibir del proceso de digestión; durante la degradación anaeróbica, la materia orgánica compleja es hidrolizada y fermentada en sustancias de bajo peso molecular, incluyendo ácidos grasos de cadena corta, como: ácidos acético, propiónico y butírico.

Cuando se rompe la interacción simbiótica entre acidogénicos y metanogénicos, los AGV tienden a acumularse.

Un incremento en la concentración de ácidos volátiles en el sistema, implica una desestabilización del proceso y, en consecuencia, una disminución de la producción de biogás. (VARNERO, 2011)

### **Hidrógeno.**

“El hidrógeno es también un compuesto intermedio importante del proceso anaeróbico. Su acumulación en el medio provoca la inhibición de la acetogénesis y, consecuentemente, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono”. (VARNERO, 2011)

### **Nitrógeno amoniacal**

El amoníaco puede estar presente en las materias primas que entran al digestor o ser un subproducto de la degradación anaeróbica de proteínas o aminoácidos (compuestos orgánicos nitrogenados). Las proteínas generalmente contienen 16% de nitrógeno. Durante el proceso de digestión anaeróbica, el nitrógeno es hidrolizado dando lugar a compuestos amoniacales, aunque se considera que el nitrógeno amoniacal es un nutriente que aporta durante el crecimiento bacteriano, a concentraciones altas puede inhibir su crecimiento.

La cantidad de amoníaco libre depende de la concentración del sustrato, de la relación C/N, de la capacidad tamponadora del medio y de la temperatura de digestión.

Los residuos que contengan mayores cantidades proteicas u otros compuestos en base de nitrógeno son los que presentan mayor problema de inhibición por amonio. Se ha informado que los digestores que operan temperaturas altas, son más propensos a la toxicidad por amonio, que aquellos que operan en el rango termofílico. (VARNERO, 2011)

Tabla 8-1 Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica

Amoníaco-N (mg/L)	Efectos
50-100	Benéfico
200-1000	Sin efectos adversos
1500-3000	Efectos inhibitorios a niveles de pH altos
>3000	Tóxico

Fuente: ("Anaerobic waste treatment fundamentals Part III: Toxic materials and their control", 1964)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### Sulfatos y sulfuros.

La presencia de altas concentraciones de sulfato en el sustrato, tiende a ocasionar la inhibición del proceso anaeróbico, especialmente la etapa de la metanogénesis.

El sulfuro también actúa como un inhibidor para muchos grupos bacterianos, este se puede producir durante la degradación de materia orgánica que contiene azufre (proteínas), encontradas en residuos tales como el estiércol de cerdo. (VARNERO, 2011)

### Cationes y metales pesados

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-térreos tienen un efecto estimulante y beneficioso para las bacterias anaerobias y su metabolismo por ende es estimulante para el proceso de digestión anaeróbico, siempre y cuando existan bajas concentraciones. Si se llega a sobrepasar cierto nivel de concentración, pueden generar toxicidad y a su vez una disminución de la velocidad de crecimiento. (Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. Journal, 1986)

Tabla 9-1 Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico

Inhibidores	Concentración Inhibidora
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,5 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500mg/l

CN <sup>-</sup>	25mg/l
Na	3500-5500 mg/l
K	2500-4500 mg/l
Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

**Fuente:** (Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. Journal, 1986)

**Realizado por:** Jaime Inca, 2016

### **Promotores de la metanogénesis**

Los promotores son materiales que fomentan la degradación la materia orgánica y contribuyen a una mayor producción de gas, entre ellos están enzimas, sales inorgánicas, se puede emplear urea, carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

Para promover el proceso y la producción de gas, es recomendable agregar celulosa.

La urea y el carbonato de calcio han mostrado buenos resultados, Se evidencia una aceleración de la producción de metano y degradación de la materia orgánica, al aplicar urea, mientras que el carbonato de calcio ayuda a que el gas se produzca en mayor cantidad y con un mayor porcentaje de metano. (GUEVARA VERA, 1996)

### **Agitación y mezclado**

La agitación tiene varios objetivos al aplicarlo en la biodigestión anaerobia, entre estos están: la eliminación o disminución de metabolitos generados por bacterias metanogénicas, por otra parte impulsar el mezclado en el medio fresco (sustrato) con una población bacteriana activa, ayuda a evitar que se forme costras producto de la fermentación que se produce dentro del biodigestor, además ayuda a que las bacterias puedan distribuirse de una manera homogénea por todo el sustrato, así se evita la formación de “espacios muertos” en los que no esté presente la actividad biológica. (PAREDES, 2015)

La agitación aumenta la producción de gas y disminuye el TRH, esto es básicamente por cuatro razones:

- Debido a que mejora la distribución de manera uniforme de la temperatura y del sustrato en el interior del biodigestor.
- La distribución de los productos, tanto intermedios como finales es uniforme.

- Genera una mejor relación entre el sustrato y las bacterias mejorando el metabolismo y evitando la formación de cúmulos alrededor de las bacterias.
- Evita la acumulación de lodo en la parte superior del digestor, también llamada “nata” o “espuma” que dificulta la salida del biogás. (VARNERO, 2011)

Se distinguen 3 tipos de agitación, estas son:

- **Mecánica:** se realiza a través de aparatos que tienen la capacidad de agitar de tipo manual o con motores eléctricos.
- **Hidráulica:** se realiza a través de bombas de flujo lento se hace recircular la biomasa.
- **Burbujeo de biogás:** el biogás producido se recircula desde el fondo del biodigestor por medio de tuberías, para producir burbujeo y de esta manera movimiento de la biomasa. (VARNERO, 2011)

## 1.7 Biodigestor

El Biodigestor es un depósito cerrado de manera hermética, en donde gracias a la acción de bacterias anaeróbicas los residuos orgánicos vegetales o animales, como el estiércol se fermentan, generando biogás (metano) y un residuo o líquido espeso, que se utiliza como abono (biol). El funcionamiento básicamente consiste en alimentar el biodigestor con biomasa, como el estiércol y una proporción de agua, en un período de 35 a 45 días aproximadamente, dentro de estos días, la acción metabólica de las bacterias produce reacciones bioquímicas, que se van desarrollando a lo largo del proceso, siempre y cuando se realice en condiciones ambientales, químicas y físicas favorables; en el proceso se descompone la materia orgánica hasta producir biol y biogás (metano) que luego puede ser usado como combustibles (generación de calor y/o electricidad entre otros).

Los biodigestores pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, sin embargo la mayor parte de los biodigestores que se construyen hoy en día tienen o asemejan la forma de un cilindro.

Los biodigestores modernos tienen cubiertas fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Se pueden construir de diferentes materiales, desde adobe, polietileno, mampostería, concreto hasta acero inoxidable. (LARA, 2011)

### ***1.7.1 Flujo de la materia orgánica en un digestor.***

Generalmente en un digestor la materia orgánica fluye de la siguiente manera:

#### **Entrada del Afluente.**

Normalmente, el afluente (materia orgánica) se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado opuesto. (VARNERO, 2011)

#### **Salida del Efluente.**

Generalmente, el afluente (salida de la materia orgánica), sale por el costado opuesto de la entrada del afluente, por ejemplo: si el digestor es de forma cilíndrica y vertical sale por uno de sus lados (lo contrario al ingreso del afluente). Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos)". (VARNERO, 2011)

#### **Extracción de lodos**

La extracción de lodos suele realizarse por medio de una compuerta, se extraen por el centro del reactor a través de limpiezas programadas, para evitar taponamientos en el flujo de la materia.

#### **Sistema de gas**

El gas se produce en la cámara de digestión y genera presión que ayuda a la salida del efluente.

El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases. (VERDEZOTO CARVAJAL, 2014)

### ***1.7.2 Objetivo del Biodigestor***

Transformar residuos orgánicos en gas aprovechable con el propósito de obtener energía y ayudar a reducir las emisiones de gases nocivos a la atmósfera, contribuyendo a un bienestar económico, social y ambiental. (VERDEZOTO CARVAJAL, 2014)

### ***1.7.3 Proceso dentro del Biodigestor***

El fenómeno de biodigestión se da por la acción de un grupo de microorganismos anaeróbicos que se encuentran en la biomasa y actúan sobre los desechos orgánicos metabolizándolos y produciendo una mezcla de gases (biogás) con contenido de metano (CH<sub>4</sub>), que es muy eficiente si se aprovecha como combustible.

Como subproducto de este proceso, se generan residuos que contienen una buena concentración de nutrientes y materia orgánica (biol) que se pueden aplicar como abono al mezclarlo con agua, para reducir la concentración alta de nutrientes, además el tratamiento anaeróbico elimina los malos olores y por ende la aparición de vectores como moscas, insectos, entre otros.

### ***1.7.4 Ventajas de los Biodigestores***

- Producen biogás naturalmente, que se puede utilizar como combustible.
- Ahorra los recursos económicos y energéticos, al aprovechar el biogás generado.
- Ayuda a evitar la deforestación, mitigando el uso de leña.
- Permite aprovechar los residuos orgánicos, que se desechan normalmente.
- Se obtiene fertilizante como subproducto del proceso.
- Reduce la emisión de gases de efecto invernadero.
- Elimina problemas sanitarios: evita malos olores, aparición de vectores como insectos y reduce los microorganismos patógenos.
- Protege los mantos acuíferos de la contaminación por exceso de químicos.
- Facilita el trabajo del campesino, principalmente de niños y mujeres que buscan y transportan leña desde lugares lejanos.
- Saneamiento ambiental por medio del aprovechamiento y la transformación de desechos orgánicos que pueden resultar perjudiciales para el ambiente, como el caso de las excretas de animales (en su mayoría bovinos) que tienden a contaminar el ambiente y producir enfermedades tanto en seres humanos como en animales. (Biodigestores, 2012)
- 

### ***1.7.5 Desventajas de los biodigestores***

- Se debe ubicar cerca a la fuente en donde se origina y se almacena la materia orgánica.
- Demanda un trabajo constante y diario, específicamente en cuanto a la carga de la materia orgánica dentro del biodigestor.

- La temperatura debe estar entre el rango de 15 y 60°C, lo que aumenta el tiempo de retención durante el proceso en climas fríos.
- Dentro de la composición del biogás se encuentra el subproducto sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), que es un gas corrosivo y tóxico para animales y plantas.
- Requieren de mucho cuidado dependiendo el material con el que son elaborados, especialmente si son construidos de plástico (polietileno), ya que pueden cortarse, desgastarse y quedar inutilizados.
- Debido a la velocidad baja de desarrollo de los microorganismos durante el proceso de obtención de biogás, la puesta en marcha es lenta. (Biodigestores, 2012)

#### ***1.7.6 Criterios a considerar en el diseño de un biodigestor***

Los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de planificar, diseñar y construir un biodigestor son:

- Debe existir un compromiso de participación y responsabilidad por parte de las personas que van a implementar un biodigestor.
- Compromiso en el tiempo para el mantenimiento, recursos económicos para la compra de materiales de construcción, mano de obra, área disponible para la construcción.
- Disponibilidad de materia prima, desechos pecuarios o domésticos.
- Cercanía de la materia prima con el lugar en donde se instalará el biodigestor
- Debe estar a por lo menos 10 – 15 metros de cualquier fuente de agua para evitar posibles contaminaciones.
- Se debe ubicar en un lugar en donde esté protegido de vientos fríos y donde se mantenga relativamente estable la temperatura, procurando que reciba los rayos solares.
- El diseño del biodigestor debe ser adaptado a cada una de las realidades locales. (TOALA MOREIRA, 2013)

#### ***1.7.7 Clasificación de los digestores***

Los digestores anaeróbicos pueden clasificarse como de baja velocidad o de alta velocidad de acuerdo a la tasa de estos.

## Reactor anaeróbico de alta velocidad

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad se fundamentan principalmente en un reactor continuo que tiene agitación (mezcla), este opera en condiciones mesofílicas o termofílicas.

El desarrollo de fermentadores para la metanogénesis presenta extremados problemas en comparación con la mayoría de los fermentadores para otros procesos. Los efectos del fallo del proceso podrían ser grandes, especialmente si la operación de la planta debe terminar cuando el efluente no tiene un tratamiento continuo y satisfactorio. (VARNERO, 2011)

## Reactor anaeróbico de baja velocidad

Los reactores anaeróbicos de baja velocidad a diferencia de los anteriores, no se encuentran mezclados o en agitación. La temperatura, el tiempo de retención y otras condiciones no están controladas. Esta configuración de biorreactor no es la más apropiada para la producción de bioenergía (biogás). A pesar de esto, algunos tanques y lagunas de fermentación se cubren y se mezclan para contribuir a la obtención de biogás.

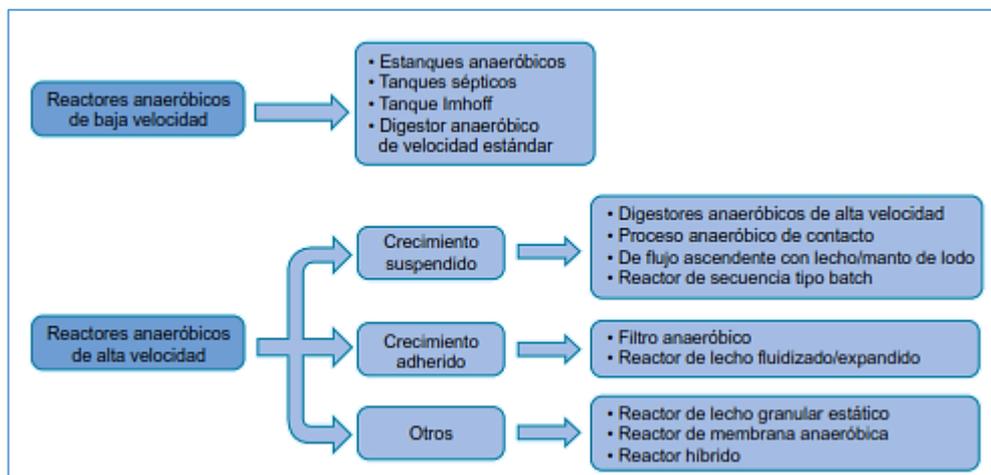


Figura 3-1 Clasificación de los reactores anaeróbicos

Fuente: (VARNERO, 2011)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Los biorreactores en función del tipo de operación que éstos tienen se clasifican en:

### Discontinuos o régimen estacionario

Este tipo de digestores son cargados una sola vez con las materias primas, hasta que el periodo de fermentación concluya, esto se hace evidente una vez que el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae, al suceder esto deben ser vaciados por completo y

cargados de nuevo, con esto se da inicio a un nuevo proceso de fermentación. A estos se les conoce también como digestores Batch. (VARNERO, 2011)

Este tipo de reactor es muy útil cuando se procesan tóxicos o componentes altamente potentes. (PAREDES, 2015)

### **Sistemas semicontinuos:**

Este tipo de digestor se alimenta con una primera carga que consta de una gran cantidad de materia prima. Posteriormente, se debe agregar nuevas cargas de materia prima al digestor, estas cargas deben ser calculadas en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. El efluente debe ser descargado regularmente en la misma cantidad que se incorpora el afluente.

Este tipo de digestor se usa en el medio rural, los diseños más populares son el digestor Hindú y chino. (VARNERO, 2011)

### **Ventajas**

- Pueden tratarse una gran variedad de materias primas.
- La carga puede recolectarse en campo abierto debido a que la tierra, hierbas u otros objetos en la mezcla, no entorpece la operación del Biodigestor, siempre y cuando sean inertes y no alteren a los microorganismos.
- Permite las cargas secas que no absorban humedad, así como varias materias que flotan en el agua, como restos vegetales.
- Su funcionamiento en ciclos, lo hace idóneo cuando la disponibilidad de materia prima no es continua, sino periódica. (Universo Porcino, 2008)

### **Desventajas**

- La carga requiere un considerable y paciente trabajo.
- La descarga, también es una operación trabajosa. (Universo Porcino, 2008)

### **Sistemas continuos**

En este tipo de biodigestores la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producción de biogás, uniforme y constante en el tiempo.

Son utilizados primordialmente para tratar aguas negras. Conciérne a grandes plantas, de tipo industrial, en las que se emplean grandes equipos y tecnologías para alimentar la carga, estos equipos proporcionan agitación y calefacción, así como un control.

Al generar una gran cantidad de biogás, éste se aprovecha en aplicaciones del sector industrial. (VARNERO, 2011)

### Ventajas

- El control de la digestión, tiene un alto grado de precisión.
- Permite corregir las anomalías que se puedan presentar durante el proceso.
- Ayuda a manejar las variables del proceso, temperatura, pH, carga específica, tiempo de retención.
- La puesta en marcha, sólo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento.
- Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren ninguna operación especial. (Universo Porcino, 2008)

### 1.7.8 Modelo de Biodigestores

**Pozos sépticos.** Es el digestor anaeróbico más antiguo y simple que se conoce, se utiliza habitualmente para la disposición de aguas residuales domésticas.

Se cree que de este tipo deriva el uso potencial que se le puede dar a los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para un uso doméstico. (PERRY, 1974)

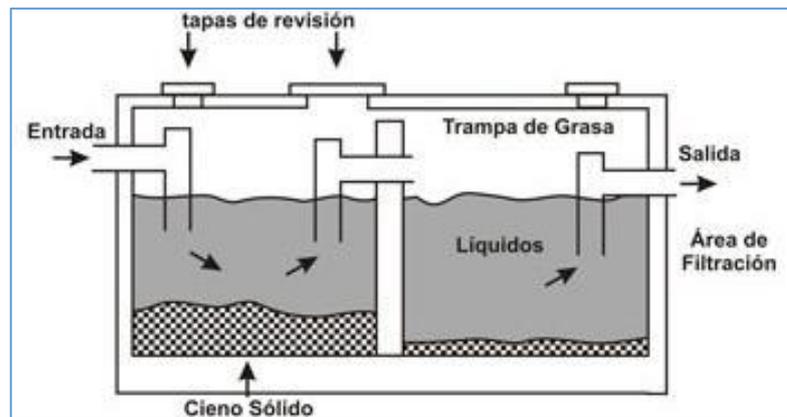


Figura 4-1 Biodigestor de pozo séptico

**Fuente:** Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Residuos Orgánicos.

**Realizado por:** Jaime Inca, 2016

**Digestor del domo flotante (Hindú).** Estos digestores por lo general se encuentran enterrados y verticales, de igual manera que un pozo. Su carga se realiza por gravedad una vez al día, su

volumen de carga depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación

Consta de un domo o campana flotante que sirve como depósito de almacenamiento del biogás generado en la cámara de digestión. La campana puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico.

El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la campana misma, además genera una presión constante, lo que permite un funcionamiento eficiente de los equipos que son alimentados por el biogás.

La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores, existen métodos para evitar que la campana se ladee, cómo la construcción de un soporte de hierro como guía. (VARNERO, 2011)

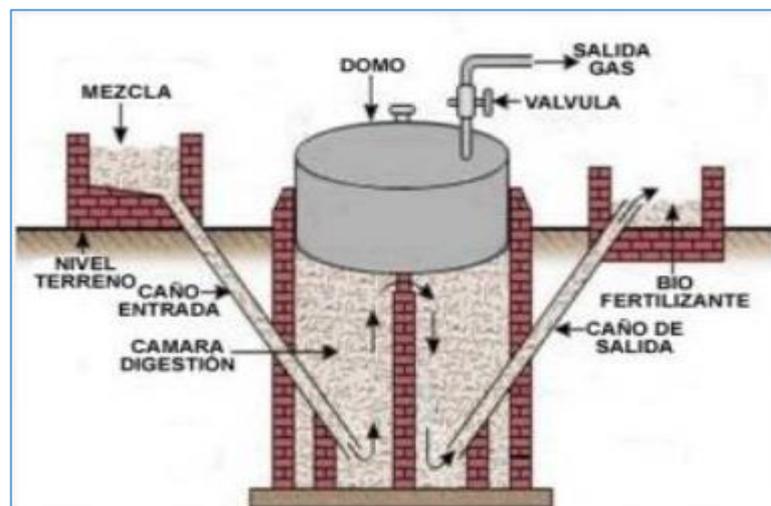


Figura 5-1 Biodigestor hindú

Fuente: (PONTÓN, 2010)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

**Digestor de domo fijo (Chino).** Este digestor consiste en una cámara de gas firme o fija construida de ladrillos, bloques u hormigón. El fondo y la cúpula son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por capas delgadas de cemento para hacerlo firme.

Para dar marcha al proceso, el digestor es llenado con residuos agrícolas o pecuarios mezclados con agua, esto a través de un tubo de entrada. Una vez cargado, es alimentado diariamente con los restos disponibles, provenientes de los animales, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor (cámara de digestión).

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida.

Se extrae un sobrante del líquido que sale de la cámara de digestión, por medio del tubo de salida, esto se realiza con una cubeta y se aplica como abono, el digestor debe ser vaciado una o dos veces al año completamente para limpiarlo y los residuos del fondo (sólidos) deben ser aplicados en las tierras de cultivo. Este digestor no tiene la misma eficiencia para generar biogás como el modelo hindú, pero es excelente en la producción de bioabono, ya que sus tiempos de retención son en general largos, por lo que proporciona una gran cantidad de este material, que se mezcla con los suelos antes de la siembra. (VARNERO, 2011)

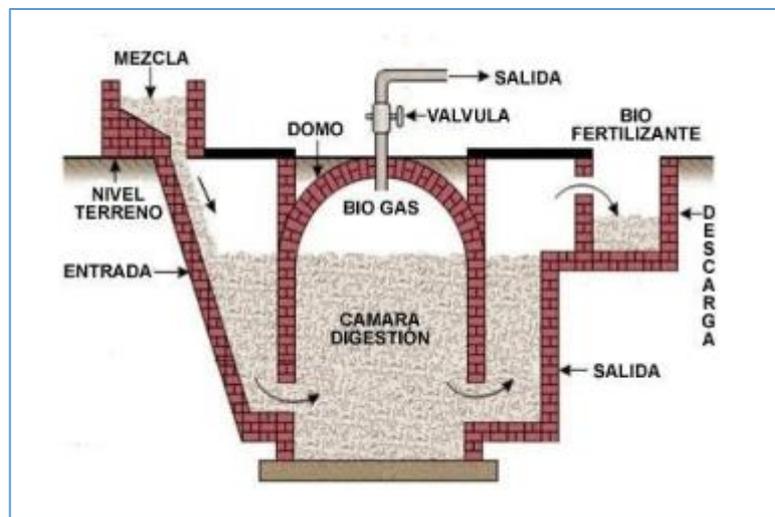


Figura 6-1 Biodigestor Chino

Fuente: (PONTÓN, 2010)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### **Biodigestores Horizontales.**

Estos digestores generalmente se construyen enterrándolos, tienen poca profundidad y son alargados, semejando un canal o una salchicha, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1, y además consta de una sección transversal circular, cuadrada o en “V”.

Se operan a régimen semi-continuo, la carga se realiza por un extremo del digestor y por el extremo opuesto sale el residuo. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie.

Este tipo de digestores es recomendable cuando los volúmenes son mayores a 15 m<sup>3</sup>, en los cuales excavar un pozo vertical resulta muy problemático. (VARNERO, 2011)

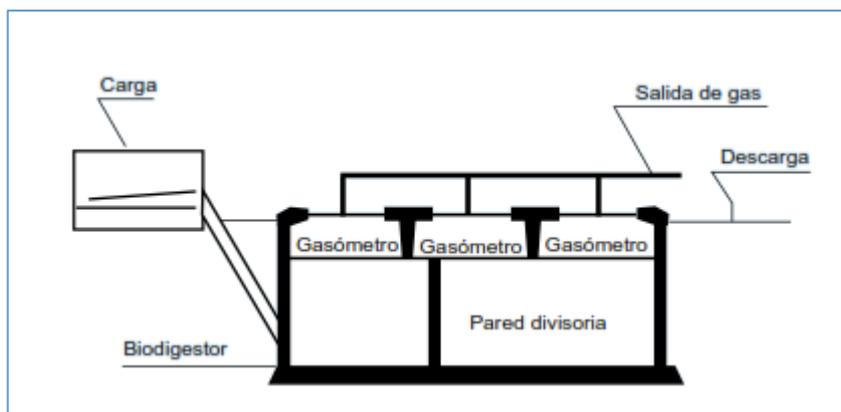


Figura 7-1 Digestor Horizontal

**Fuente:** Manual de Biodigestores, (VARNERO, 2011)

**Realizado por:** Jaime Inca, 2016

### 1.7.9 Estructura de un Biodigestor.

En la estructura básica de un biorreactor podemos considerar los siguientes elementos principales:

#### **Cámara de mezclado.**

Esta cámara es muy importante ya que por aquí ingresan los residuos orgánicos hasta la siguiente cámara denominada cámara de fermentación o cámara de digestión.

El diseño de esta cámara depende de la cantidad diaria de producción de los residuos orgánicos, la función que cumple es la de mezclar los residuos orgánicos con el agua para obtener una mezcla homogénea se recomienda suministrar un equipo motorizado que ayude a cumplir este cometido, ya que se necesita de mucha fuerza para su mezclado. (Energía de la Biomasa., 2006 pág. 20)



Figura 8-1 Cámara de Mezclado

**Fuente:** (LÓPEZ P, 2003)

**Realizado por:** Jaime Inca, 2016

### **Cámara de fermentación o digestión.**

La cámara de fermentación o digestión es muy importante ya que aquí es el lugar donde la materia orgánica se descompone o fermenta, por medio de bacterias que convierten la materia orgánica en biogás, para que esto sea posible la cámara debe cumplir con las siguientes características. (OYALA, 2009)

- Debe ser impermeable para evitar la salida y el ingreso de oxígeno o agua, no debe tener fugas de gas en el interior del tanque, ya que si esto no se cumple contaminaría el lugar y reduciría la eficiencia de producción, además volver al lugar peligroso por la presencia de gas inflamable.
- Evitar zonas freáticas en donde va a ubicarse el tanque, para evitar y reducir el deterioro del mismo.
- La vida útil va a depender de los diferentes materiales con los que es construido, entre ellos se acostumbra a utilizar: cemento, metal, mampostería, plástico.
- Se recomienda incluir un mecanismo de agitación entre los principales aquellos que tienen forma de paletas hélices y tornillos. (OYALA, 2009)

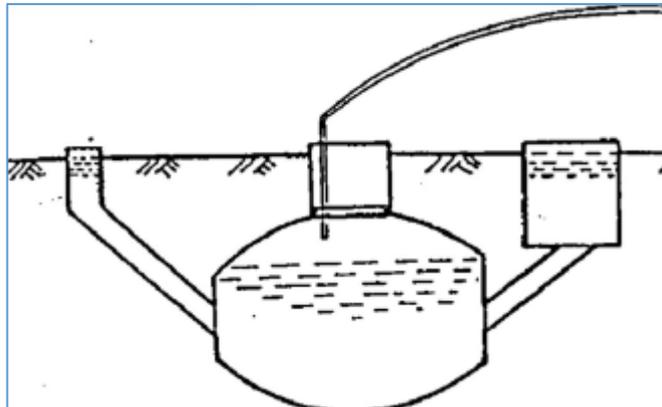


Figura 9-1 Cámara de fermentación

Fuente: (LÓPEZ P, 2003)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### **Cámara de descarga**

Esta cámara es el lugar por donde sale la materia orgánica ya procesada, las dimensiones que se recomiendan para esta cámara es de 2 veces a la de la cámara de mezclado, debido a que el efluente que va a salir va a ser proporcional al volumen que ingresa. (OYALA, 2009)

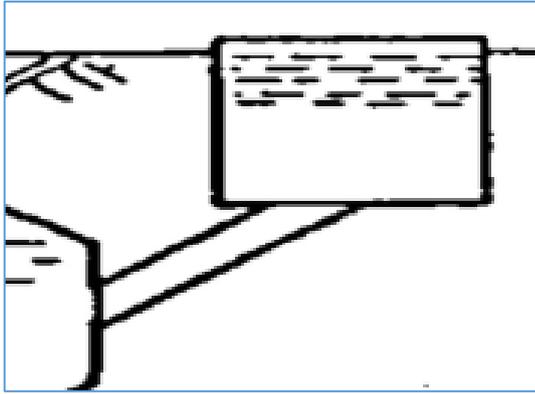


Figura 10-1 Cámara de Salida

Fuente: (LÓPEZ P, 2003)

### Cámara de almacenamiento de biogás

Es el espacio dentro de la cámara de digestión que comprende el espacio entre el gas (25%) y los residuos orgánicos (75%).

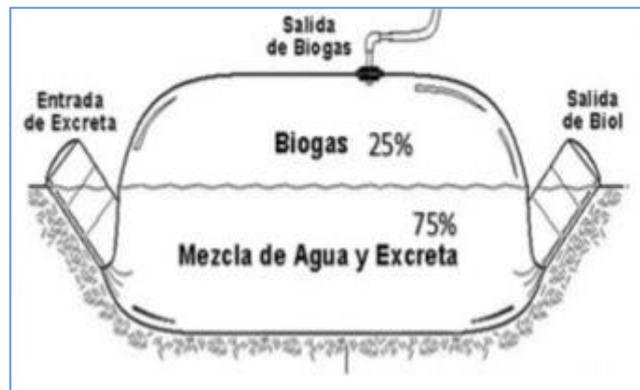


Figura 11-1 Cámara de almacenamiento de Biogás

Fuente: (OYALA, 2009)

### Sistema de control de temperatura.

Este tipo de sistemas son costosos y se utilizan a nivel industrial, su función principal es mantener la temperatura estable en un rango óptimo en el interior del digestor para un crecimiento máximo de las bacterias.

Un sistema de control de temperatura normalmente consta de:

- **Serpentín:** Es un sistema de tuberías, por las cuales el calor es transmitido al fluido que está al interior del tanque, el tubo del serpentín preferiblemente debe ser delgado para que la conducción de calor sea garantizada desde los tubos hasta el sustrato.
- **Intercambiador de calor:** es un dispositivo que cumple la función de transferir calor entre dos fluidos, o entre un sólido y un fluido en movimiento.
- **Controlador de temperatura:** Es un sistema cuya función es regular el motor que controla las válvulas encargadas de hacer circular el líquido frío (refrigerante) así como el líquido caliente.
- **Sensor de temperatura:** Se puede utilizar un termómetro para medir la temperatura dentro del tanque, pero se recomienda la utilización de una termocupla.
- **Tuberías de conducción de agua:** Son tuberías que deben ubicarse en el interior de las paredes del reactor, deben sujetarse o fijarse a fin de que actúen como conductores de un fluido térmico que absorba el calor excedente que pueda presentarse en el interior del tanque, ayudando así a enfriar y regular la temperatura del sustrato en el cultivo interno. (PAREDES, 2015)

#### **Sistema de agitación:**

Se puede aplicar un sistema interno de agitación, como también un sistema que inyecte aire al interior, cuando así requiera el digestor.

Un sistema de agitación está formado por cuatro hasta seis deflectores, que cumplen la función de generar y aumentar la turbulencia y por ende facilita el mezclado del sustrato en el interior del tanque o la cámara de digestión.

Normalmente cuenta de cuatro partes mecánicas que son:

- **Puerto de entrada del biorreactor:** Se conoce como puerto al espacio sobre el cual se puede instalar un mecanismo de entrada o salida del digestor; por medio de este se pueden realizar ajustes o fijar dispositivos en la superficie o pared del tanque de digestión.
- **Motor impulsor:** El motor abastece la potencia al eje de transmisión que girará y proporcionará la agitación, este motor preferiblemente debe ser de inducción ya que si las condiciones requieren una agitación continua es la mejor opción, para que el digestor opere continuamente.

Se recomienda que el motor sea resguardado bajo una protección de acero inoxidable, para evitar su corrosión.

- **Eje transmisor de potencia:** Es una barra cilíndrica, que facilita la unión con el motor, normalmente tiene un diámetro entre  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", esta barra debe ser de acero inoxidable y su longitud depende de la profundidad del tanque.

- **Acople del eje:** Fija y ajusta el eje transmisor al motor. (PAREDES, 2015)

### **Tubería de gas**

La tubería de gas debe ser una tubería que soporte altas presiones, de materiales como: cobre, acero inoxidable, o de polietileno. Esta última tiene una resistencia a la corrosión y al desgaste químico y además es muy económica.

### **Válvulas de seguridad.**

Las válvulas de seguridad cumplen la función de regular la presión del gas con el fin de evitar accidentes, debido a que puede haber momentos en que el biodigestor llegue a su máxima capacidad de producción de biogás establecidos en el diseño, por ello la implementación de estas válvulas permite regular la presión del biogás, liberando y aliviando la presión excesiva, se constituye uno de los dispositivos o elementos más indispensables de seguridad en el digestor. (MONTES C, 2008)

### **Purificador de gas**

La formación de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) en el proceso de generación de biogás es inevitable, por lo que es necesario eliminarlo a través de un purificador, debido a que este componente es altamente corrosivo y venenoso para personas y animales, tiene un olor característico a huevo podrido. (FINCK, 2009)

La función del purificador es capturar el azufre presente en los residuos orgánicos, evitando que se genere  $H_2S$ , ya que evita que este tenga contacto con el vapor de agua procedente del biogás, evitando que se genere ácido sulfúrico.

## CAPÍTULO II

### **2. DISEÑO EXPERIMENTAL.**

Para realizar el diseño del biodigestor, se reconoció las instalaciones de la granja avícola “Bilbao”, el número de aves, en la granja, la distribución en galpones, con el fin de determinar la producción de estiércol puro y fresco; una vez identificado el lugar se recoge la muestra a ser analizada, cuyos resultados facilitarán el diseño del biodigestor.

Con el fin de tener datos reales, se realiza un modelo a escala, utilizando una caneca plástica con capacidad de 20 litros, la cual sirve como punto de referencia y de partida para el diseño y dimensionamiento del biodigestor que se propondrá para la Granja Avícola “Bilbao”.

La presente investigación para el Diseño de un Biodigestor para la obtención de biogás a partir de las excretas generadas por las gallinas de postura, se la realizo en la granja Avícola “Bilbao”, ubicada a ½ kilómetro del centro de Cotaló, parroquia perteneciente al Cantón Pelileo de la Provincia de Tungurahua.

#### **2.1 Ubicación Geográfica del lugar de la Investigación.**

El lugar de la investigación se lleva a cabo en la parroquia Cotaló del cantón Pelileo, provincia de Tungurahua; en las instalaciones de la granja Avícola “Bilbao”, la granja se encuentra ubicada en las coordenadas Este 0777359 y Norte 9842349 (UTM), la temperatura promedio del lugar va de los 14 – 19 °C, cuenta con una altitud de 2500 msnm.

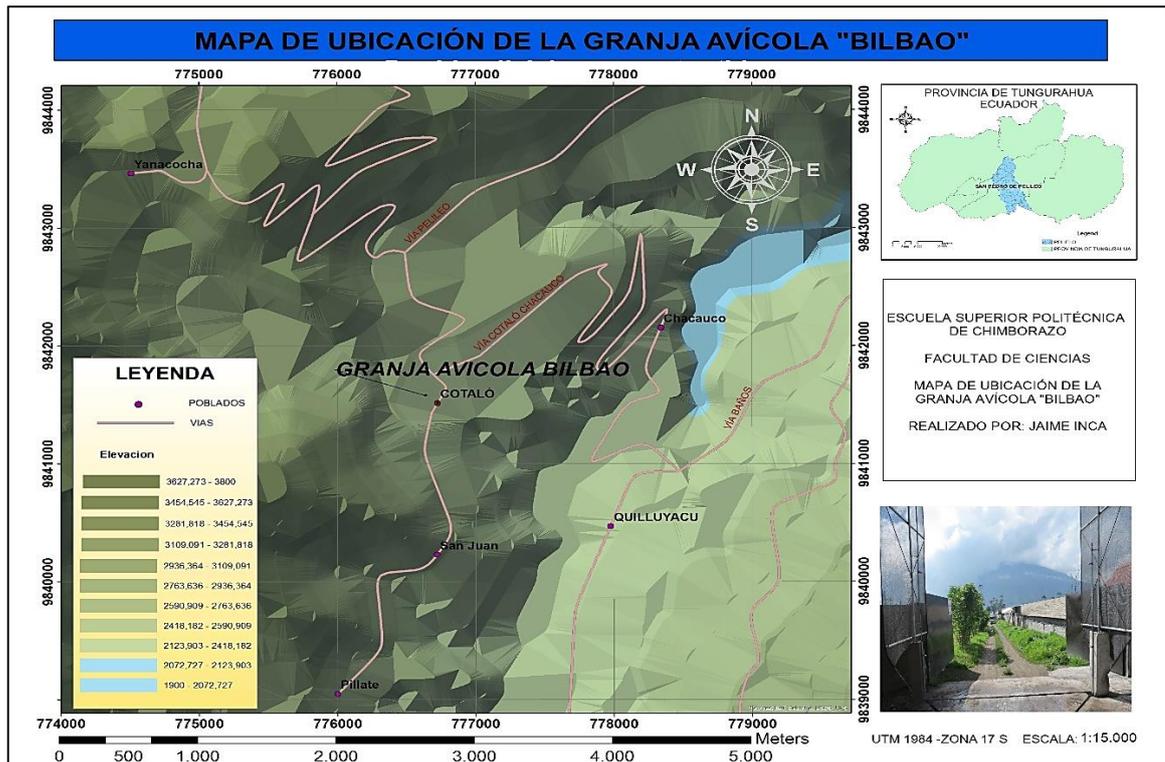


Gráfico 1-2 Ubicación Granja Avícola Bilbao

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## 2.2 Muestreo

La granja Avícola “Bilbao”, cuenta con 10 galpones, de los cuales 4 son utilizados para la cría y 6 para postura, dentro de los galpones de postura se cuenta con un total de 28000 gallinas, la gallinaza que sale son 150 carretillas a la semana, de las cuales se pretende utilizar solo la gallinaza fresca.

Se utilizará 1 kg de gallinaza fresca, considerando que es una muestra representativa y suficiente para lograr resultados precisos.

### 2.2.1 Selección de muestra y cuantificación.

La selección de la muestra se realiza de manera aleatoria, de acuerdo al criterio del investigador. Debido a que las excretas a recolectar son en su mayoría homogéneas en cuanto a su composición, y la selección de una muestra aleatoria no presentaría inconvenientes para representar las características a investigar.

## **Materiales:**

Guantes de látex.

Mascarilla

Botas de caucho.

Balde

Pala

Carretilla

Bascula

### **2.2.2 Método**

Para determinar la cantidad de gallinaza que se genera en los galpones primero se realizó una entrevista a los trabajadores, con el fin de tener un punto de referencia de cómo y qué cantidad de gallinaza se maneja en el establecimiento avícola.

Con la información obtenida se determinó la cantidad de gallinaza que se genera en promedio a la semana, además se logró conocer que cantidad es acumulada en los galpones, para posteriormente ser extendidas en un área específica para su secado, y que cantidad de carretilladas son de gallinaza fresca, que se utiliza como abono, vertiéndola directamente sobre los pastizales.

Para el estudio se toma en cuenta las excretas frescas, la cuantificación se realizó de la siguiente manera:

- Se pesó el balde vacío para determinar su peso.
- Se procedió a colocar la gallinaza fresca en el balde.
- Se pesó la gallinaza dentro del balde, por medio de la balanza.
- Se determinó el peso de 1 balde de gallinaza por diferencia de pesos.
- Se procedió a llenar una carretilla con gallinaza por medio de los baldes para determinar la cantidad que llevan normalmente.
- Se realizó tablas para determinar el promedio de gallinaza que se genera en 3 semanas.

## 2.3 Pruebas de laboratorio

La muestra recogida de 1 Kg por medio del muestreo aleatorio simple, es sometida a análisis de laboratorio para determinar los parámetros que permitan el diseño del biodigestor.

Los parámetros y técnicas se describen a continuación.

### TEMPERATURA

Tabla 1-2 Determinación de la Temperatura

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Unidades
La temperatura influye directamente en la velocidad de degradación de la materia orgánica. Tiene una relación directamente proporcional con el tiempo de retención.	Termómetro	Se introduce el termómetro en la muestra, se espera un momento y se observa la temperatura que se marca.	°C

Autor: Jaime Inca

### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA

Tabla 2-2 Determinación de la densidad

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Unidades
“La densidad del sustrato resultante de la descomposición de la materia orgánica determina la cantidad de	-Densímetro 10ml. - Probeta 50ml. - Balanza	1. Se pesa el densímetro vacío. 2. Se toma una muestra del líquido en la probeta y se coloca en el densímetro hasta	Kg/m <sup>3</sup>

masa de sustrato que se encuentra contenida en un determinado volumen de muestra del mismo”.	analítica.	llenarlo. 3. Se pesa el densímetro lleno en la balanza analítica. 4. Se calcula la densidad de la muestra, por diferencia de masas y el volumen conocido.	
--	------------	---	--

Fuente: (PAREDES, 2015)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DE LA MEZCLA

Tabla 3-2 Determinación de la viscosidad

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Unidades
La viscosidad es la resistencia que presenta una sustancia al fluir. Viene dada por las tensiones cortantes o tensiones de tracción, es el rozamiento interno entre capas propias de un fluido. Se puede representar como el “espesor” que tiene una sustancia.	-Canicas de vidrio (2). -Probeta 250ml. - Cronómetro digital.	1. Se midió el diámetro y pesó cada una de las canicas. 2. Se calcula el volumen de cada canica. 3. Se llena la probeta de 250ml con la muestra y se observa la altura del líquido. 4. Se deja caer una canica y se toma el tiempo de su caída hasta la base de la probeta. 5. Con la densidad se calcula la viscosidad mediante la fórmula conocida. 6. Se repite el proceso.	Stockes $\mu = \frac{2g(\rho_{sol} - \rho_{liq})r^2}{9v}$ Donde: g= gravedad $\rho$ =densidad r=radio v=velocidad

Fuente: (PAREDES, 2015)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DE LA MEZCLA.

Tabla 4-2 Determinación de la conductividad de la mezcla.

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Unidades
La conductividad térmica de un material mide la capacidad de conducción de calor de éste. El coeficiente de conductividad térmica expresa el calor que pasa a través de la superficie de una sustancia en una unidad de tiempo.	-Conductímetro -Vaso de precipitación de 250ml.	1. Se vierte el líquido en un vaso de precipitación de 250ml. 2. Se mide la conductividad de la sustancia.	mS

Fuente: (PAREDES, 2015)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.

Tabla 5-2 Determinación de los sólidos disueltos totales.

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Unidades
Los sólidos disueltos totales hacen referencia a la medida del total de todas las sustancias (menores a 2µm) presentes en una solución acuosa.	-Conductímetro -Vaso de precipitación de 250ml.	1. Se vierte el líquido en un vaso de precipitación de 250ml. 2. Se mide la conductividad de la sustancia. 3. Se realizó la conversión de la misma (ms) a ppm de sólidos disueltos totales.	ppm

Fuente: (PAREDES, 2015)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS TOTALES.

Tabla 6-2 Determinación de los sólidos totales.

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Unidades
<p>La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación. Su determinación se basa en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 103-105°C</p>	<p>-Cápsulas de porcelana de 90 mm de diámetro -Desecador -Horno de mufla -Horno de secado -Balanza analítica</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encender la estufa a 103-105°C.</li> <li>2. Introducir una cápsula limpia durante una hora.</li> <li>3. Llevar la cápsula al desecador hasta que se vaya a emplear.</li> <li>4. Pesarla inmediatamente antes de usar y registrar el dato (Peso A).</li> <li>5. Esperar que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.</li> <li>6. Seleccionar el volumen de muestra (25 y 100) ml.</li> <li>7. Mezclar bien la muestra y depositar el volumen seleccionado en la cápsula de evaporación tarada.</li> <li>8. Colocar la cápsula en una placa calefactora y evaporar la muestra hasta casi sequedad pero evitando ebullición y salpicaduras.</li> <li>9. Llevar la muestra evaporada a la estufa a 103-105°C por 1h.</li> <li>10. Enfriar la cápsula en el desecador.</li> <li>11. Pesar rápidamente para evitar cambios en el peso por exposición al aire y/o degradación del residuo y registrar los datos.</li> </ol> <p>El peso finalmente obtenido será Peso B.</p>	$\frac{mg}{L}$ $= \frac{(B - A) \times 1000}{\text{volumen muestra (ml)}}$

Fuente: (APHA-AWWA-WEF, 2005 págs. 55-56)

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## **2.4 Modelo Experimental a Escala**

### ***2.4.1 Tiempo de retención.***

Con el fin de obtener datos concisos y reales del tiempo de retención óptimo para la degradación de las excretas de gallina, así como la obtención de biogás, se elaboró un modelo experimental a escala.

#### *2.4.1.1 Materiales*

- Estiércol de gallina
- Agua
- Recipiente plástico de 20 litros
- Manguera plástica
- Taladro
- Uniones
- Válvula de esfera
- Teflón
- Alicata
- Guantes
- Pala
- Balde
- Bascula
- Termómetro digital.
- Silicón
- Fósforos

#### *2.4.1.2 Método*

- Se hace un agujero en la tapa del recipiente plástico, debe ser de acuerdo al tamaño de la unión que se colocará.
- Se coloca el acople o unión rodeándolo con teflón, procurando que se mantenga fijo para evitar pérdida de biogás.
- Se coloca la válvula enroscándola hasta que quede fija.

- Posteriormente colocamos una unión entre la válvula y la manguera.
- Se coloca silicón en los lugares donde pueda existir posibles fugas.
- Para la medición de la temperatura se realiza un agujero de menor tamaño, por el cual se pueda introducir el termómetro y dejarlo fijo a la tapa, cubriendo los espacios con silicón.

Una vez construido el modelo a escala, se colocó la gallinaza y el agua dentro del recipiente, en proporciones iguales, para obtener una relación de mezcla 1:1, se deja libre un 25% de espacio para la obtención de biogás.

#### ***2.4.2 Volumen de Biogás***

Para determinar el volumen de biogás, se utilizó la técnica de probeta invertida, la cual se fundamenta en determinar el volumen de un gas, por medio del desplazamiento de un líquido (agua).

##### *2.4.2.1 Materiales*

- Probeta 500ml
- Recipiente
- Agua

##### *2.4.2.2 Método*

Se llena la probeta con agua, se coloca boca abajo en un recipiente con la misma sustancia, y dentro de la probeta se inserta la manguera o tubo del cual sale el gas, se observa la cantidad de agua que es desplazada por la presión del gas, esta cantidad es igual al volumen de gas generado.

El monitoreo se realiza tres veces al día, para garantizar un mejor resultado de las mediciones, además de la medición del volumen también se realiza la observación de la temperatura ambiente, y la temperatura en el interior del prototipo.

### 2.4.3 Prueba de Flama.

La prueba de flama o inflamación, se realizó tres veces a lo largo del proceso, abriendo la válvula y colocando una fuente de calor al final de la manguera, con el fin de corroborar que el biogás presente es inflamable.

### 2.5 Datos Adicionales

Tabla 7-2 Datos experimentales para el dimensionamiento del biodigestor

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad</b>	0,995 g/cm <sup>3</sup>
<b>Viscosidad</b>	23,7 g/cm. s
<b>Conductividad</b>	66,7mS
<b>Sólidos Disueltos totales</b>	665ppm
<b>Sólidos Totales</b>	40%
<b>Tiempo de Retención</b>	45 días

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## CAPÍTULO III

### 3. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.

En esta sección se determinan los puntos básicos que deben considerarse para realizar un diseño correcto del biodigestor.

#### 3.1 Determinación de la cantidad del sustrato.

Para la cantidad de sustrato que va a ingresar en los 20 L de capacidad del recipiente, se toma en cuenta que el 75% de capacidad del recipiente corresponderá al sustrato, y el 25% restante al biogás.

Donde:

$V_s$ = volumen del sustrato.

$C_{re}$ = capacidad del recipiente. (20L)

$$V_s = C_{re} * 0.75$$

$$V_s = 20L * 0.75$$

$$V_s = 15L$$

La cantidad de gallinaza con la que se debe llenar el prototipo será de 15 L, tomando en cuenta una relación de estiércol-agua de 1:1 de acuerdo a la tabla 1.5.2.5 6, se obtiene la siguiente proporción:

$$7.5L \text{ de estiércol} + 7.5L \text{ de agua} = 15L \text{ de sustrato}$$

Utilizando la densidad del estiércol se transforma los 7.5 L de estiércol en Kilogramos, este valor nos da 7.5 Kg de estiércol, si utilizamos el valor de la densidad del agua, esta no influye de manera significativa en los valores de peso del estiércol y del agua, por lo que decimos entonces que:

$$7.5\text{Kg de estiércol} + 7.5\text{Kg de agua} = 15\text{Kg de sustrato}$$

De la proporción de materia orgánica (7,5kg) se utilizarán 4.5kg de gallinaza y 3Kg de residuos de la producción de balanceados.

Por lo tanto se pesarán 7.5 Kilogramos de estiércol de gallina y residuos de balanceados y se mezclará con 7.5 kilogramos de agua.

Una vez verificado los cálculos y con el biodigestor a escala, ya preparado, se procede a llenarlo con las proporciones establecidas y se pone en marcha la digestión anaeróbica, se realizan monitoreos constantes del proceso, para determinar el número de días, en que la materia será degradada y generará biogás y biol.

Una vez que se realiza y se monitorea la digestión anaerobia, se concluye que el tiempo de retención, para biodegradar la materia orgánica proveniente de las excretas de la Avícola “Bilbao” es de 48 días, este es un dato importantísimo para el dimensionamiento.

## **3.2 Cálculos del Diseño.**

### ***3.2.1 Cálculo de la generación de estiércol de la granja.***

Para determinar la cantidad de gallinaza que se genera en los galpones, cómo se detalló con anterioridad, se procedió a determinar el número de carretilladas que salen de los galpones y el peso de cada carretillada.

#### ***3.2.1.1 Determinación del peso de cada carretilla***

Para determinar el peso de una carretillada de gallinaza, se procedió a determinar la cantidad de baldes con los que se llena una carretilla, y el peso de estos.

$$P_c = \#bc * (P_{bg} - p_b)$$

Donde:

P<sub>b</sub>= Peso de balde vacío (0.74lb)

P<sub>bg</sub>= Peso de balde con gallinaza (50.47lb)

#bc= Número de baldes necesarios para llenar una carretilla (4)

P<sub>c</sub>= Peso de una carretillada de gallinaza

$$P_c = 4 * (50.47 - 0.74)lb$$

$$P_c = 198.92 lb$$

### 3.2.1.2 Determinación del peso total de gallinaza generada en la granja

$$P_{gT} = \#Cs * P_c$$

Donde:

P<sub>gT</sub>= Peso de la gallinaza Total

#Cs= número de carretilladas/ semana (150)

P<sub>c</sub>= Peso de una carretillada de gallinaza (198.92lb)

$$P_{gT} = 150 * 198.92 lb$$

$$P_{gT} = 29838 lb/semana$$

$$P_{gT} = 13534.2 Kg/semana$$

### 3.2.1.3 Determinación del peso de gallinaza útil para el biodigestor.

Para determinar el peso útil de la gallinaza a utilizarse para el biodigestor tomamos en cuenta, las 25 carretilladas que se utilizan a la semana para abonar los pastizales.

$$P_{gU} = 25 * 198.92$$

$$P_{gU} = 4973 lb/semana$$

$$P_{gU} = 710.42 lb/día$$

$$P_{gU} = 322.24 \text{ Kg/día}$$

### 3.2.2 Cálculo del volumen disponible de gallinaza.

El volumen disponible de estiércol, se refiere a la cantidad de gallinaza que se puede utilizar para la generación de biogás, por lo tanto el volumen del estiércol que se utiliza es aquel que proviene de las 25 carretilladas semanales, y para poder transformarlo de masa a volumen se utiliza el valor obtenido experimentalmente de la densidad del estiércol.

$$V_{dg} = \frac{P_{gU}}{\delta e}$$

Donde:

$V_{dg}$ = Volumen disponible de gallinaza

$P_{eU}$ = Peso de gallinaza útil

$\delta g$ = Densidad de la gallinaza ( $0,995 \text{Kg/m}^3 \approx 1000 \text{kg/m}^3$ )

$$V_{dg} = \frac{322.24 \text{ Kg/día}}{1000 \text{kg/m}^3}$$

$$V_{dg} = 0.32224 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{dg} = 322.24 \text{ L/día}$$

### 3.2.3 Volumen de Biogás.

Partiendo de los 322.24 Kg de estiércol útiles que se generan diariamente en la granja avícola, se toma en cuenta la cantidad de sólidos totales producidos por 1Kg de gallinaza fresca, para poder utilizar la relación de la tabla 1.5.2.5-6, de esta manera el cálculo del volumen del biogás producido, resulta así.

Relación de la tabla 1.5.2.5-6

Estiércol	Sólidos totales (kg)	Producción de biogás m <sup>3</sup>
Gallinas	1	0.2

$$322.24 \frac{kg}{día} * \frac{0.40 kg ST}{1kg} * \frac{0.2 m^3 biogás}{1 kg ST} = 25.78 \frac{m^3 biogás}{día}$$

### 3.2.4 Cálculo del tiempo de retención.

$$TRH = ((-55.227 * \ln(T^{\circ}C) + 206.72))$$

**Donde:**

TRH= Tiempo de retención

T°C=Temperatura Ambiente (21°C)

TRHex=Tiempo de retención Experimental (45días)

$$TRH = ((-55.227 * \ln(21) + 206.72))$$

$$TRH = 38 \text{ días}$$

$$TRH_{prom} = TRH + TRH_{exp}$$

$$TRH_{prom} = (38 + 45) \text{ días}$$

$$TRH_{prom} = 41,5 \text{ días} \approx 42 \text{ días}$$

### 3.2.5 Cálculo de la cantidad de Mezcla.

La cantidad de mezcla que se utilizará, será la cantidad de agua en proporción con la cantidad de estiércol producido en un día.

$$Cm = Pgu + CA$$

**Donde:**

Cm= Cantidad de Mezcla

Pgu= Peso de gallinaza útil (322kg/día)

CA= Cantidad de agua (322kg)

$$Cm = 322 + 322$$

$$Cm = 644 \text{ kg mezcla/día}$$

### **3.2.6 Cálculo del volumen del Biodigestor.**

El volumen del biodigestor lo obtenemos con los datos del tiempo de retención (TR) y la cantidad de la mezcla total de la gallinaza (Cm) con la siguiente formula:

$$V = TR * Cm$$

**Donde:**

TR= tiempo de retención (42 días)

Cm= Cantidad de mezcla (644 kg mezcla/día= 644 L/día)

$$V = 42 \text{ días} * 644 \text{ L/día}$$

$$V = 27048L$$

$$V = 27m^3$$

**Nota:** Se debe tomar en cuenta un volumen de seguridad, equivalente al 25% del volumen calculado del biodigestor.

$$Vs = 27m^3 * 0.25$$

$$Vs = 6.75m^3$$

$$VT = 27m^3 + 6.75m^3$$

$$VT = 33.75 m^3 \approx 34 m^3$$

El volumen de biodigestor de campana fija será, de 33.75m<sup>3</sup> pero para facilitar el diseño, será 34m<sup>3</sup> de capacidad para la cámara de digestión, donde se producirá biogás y bioabono (biol).

### 3.3 Cálculos de la estructura del biodigestor

Al ser un biodigestor de campana flotante o fija, tomamos en cuenta la geometría circular y el volumen del biodigestor calculado como punto de partida para dimensionar las diferentes cámaras, al ser de forma circular y al no tener vértices, ayuda que no exista pérdida del gas por las esquinas, facilitando que en su construcción requiera menor cantidad de materiales.

#### 3.3.1 Cámara de digestión

Determinado el volumen procedemos a calcular la profundidad y el diámetro de la cámara de digestión, se propone una altura de 3m a fin de facilitar la limpieza del mismo, por tanto:

$$V = \frac{(\pi * D^2)}{4} * h$$

**Donde:**

V= Volumen del Biodigestor (34m<sup>3</sup>)

Despejando el diámetro (D) tendremos:

$$D = \sqrt{\frac{V * 4}{\pi * h}}$$

$$D = \sqrt{\frac{34 \text{ m}^3 * 4}{3.14 * 3}} = 3.79\text{m}$$

Para facilidad de construcción aproximaremos el diámetro a 3.8m y con este dato procedemos a calcular la altura real de la cámara de digestión.

$$V = \frac{(\pi * D^2)}{4} * h$$

Remplazando,

$$h = \frac{V * 4}{\pi * D^2}$$

$$h = \frac{34 * 4}{3.14 * 3.8^2} = 2.99m$$

El diámetro final del biodigestor será, de 4 m ampliándole 20cm de espesor, que será construido de hormigón, de la misma manera su altura final será de 3.2m aumentándole 20cm de hormigón para la construcción de su base.

### **3.3.2 Cámara de alimentación y descarga**

La geometría de las cámaras de alimentación y descarga será de forma cuadrada, favoreciendo la mezcla de la gallinaza con el agua, para su cálculo se toma en cuenta la carga de mezcla diaria de residuos gallinaza generada.

$$Lcam = \sqrt[3]{Cd}$$

Donde:

Cd= Carga diaria (0.644m<sup>3</sup>)

$$Lcam = \sqrt[3]{0.644} = 0.86m$$

Cada lado de la cámara de alimentación y descarga tendrá 0.9m, para facilidad de construcción, tanto en longitud, como en ancho y altura. Se añadirá un margen de seguridad a las medidas de la misma de 0,1m para evitar que la carga rebose de la cámara.

### **3.3.3 Diseño de la cúpula.**

El biodigestor tipo chino cuenta de 2 cúpulas, una superior y una inferior.

#### **Cúpula superior.**

Donde:

hcs= altura de la cúpula superior.

$$hcs = \frac{1}{5} (\emptyset)$$

$$hcs = \frac{1}{5} (3.8m)$$

$$hcs = 0.76m$$

La altura de la cúpula superior del biodigestor será de 0.75m.

**Radio del arco de la cúpula superior.**

r1= radio del arco de la cúpula superior

$$r1 = \frac{r^2 + hcs^2}{2hcs}$$

$$r1 = \frac{1.9^2 + 0.75^2}{2 * 0.75}$$

$$r1 = 2.78m$$

**Volumen de la cúpula superior.**

Donde:

Vcs= Volumen de la Cúpula superior

a=3 (kte)

$$Vcs = \pi(hcs)^2(r - \frac{hcs}{a})$$

$$Vcs = \pi(0.75)^2(2.78 - \frac{0.75}{3})$$

$$Vcs = 4.46m^3$$

**Cúpula inferior.**

Donde:

hci= altura de la cúpula inferior.

$$hci = \frac{1}{8}(\emptyset)$$

$$hci = \frac{1}{8}(3.8m)$$

$$hcs = 0.475m$$

La altura de la cúpula inferior del biodigestor será de 0.48m.

### **Radio del arco de la cúpula inferior.**

r2= radio del arco de la cúpula inferior

$$r2 = \frac{r^2 + hci^2}{2hci}$$

$$r2 = \frac{1.9^2 + 0.48^2}{2 * 0.48}$$

$$r2 = 4.0 \text{ m}$$

### **Volumen de la cúpula inferior.**

Donde:

Vci= Volumen de la Cúpula inferior

a=3 (kte)

$$Vci = \pi(h_{ci})^2(r - \frac{hci}{a})$$

$$Vci = \pi(0.48)^2(4 - \frac{0.48}{3})$$

$$Vci = 2.78 \text{ m}^3$$

#### ***3.3.4 Compuerta de limpieza***

Se construirá una compuerta en la parte superior de la campana, por donde se ingresará a dar mantenimiento y limpieza al biodigestor, contará con las siguientes dimensiones 0.8m de largo y 0.8m de ancho, para facilitar el acceso y el trabajo en el interior, se procurará cubrirla de caucho, o algún tipo de empaque para evitar fugas del biogás.

#### ***3.3.5 Estructura de las tuberías de entrada y salida.***

Las tuberías de alimentación y descarga serán de PVC a fin de evitar daños a la misma por corrosión al contacto con el agua de la mezcla que ingresará y ya que ésta no sufrirá daños por parte de agentes externos como movimientos bruscos o rayos solares.

**Tubería de alimentación:**

Tendrá un diámetro de 250mm (25cm), a fin de facilitar la alimentación de la mezcla y evitar el estancamiento de gallinaza y agua al interior del biodigestor, tendrá una inclinación de 45° respecto a la horizontal.

**Tubería de descarga:**

Tendrá un diámetro de 5", debido a que no se precisa de un gran diámetro para la descarga del abono líquido (biol).

**Tubería de gas**

La tubería para la conducción del biogás será de acero inoxidable de 1½ pulgada, con el fin de evitar pérdida de presión en la conducción del biogás.

**3.3.6 Altura de la tubería en el biodigestor para conducir la carga diaria y salida de la misma.**

Para determinar las alturas de las tuberías tanto en la entrada y salida del biodigestor, se utiliza la cantidad de gallinaza útil.

$$322.24 \frac{kg}{día} * 30 \text{ día} = 9667.2 \text{ kg gallinaza}$$

Al mes se producen 9667.2 kg de gallinaza fresca, tenemos que por cada kilogramo de gallinaza existe 40% de sólidos totales.

$$ST = \frac{Kg \text{ gallinaza} * 40\%}{100\%}$$

$$ST = \frac{9667.2 * 40\%}{100\%}$$

$$ST = 3866.88 \text{ kg}$$

Con la relación de la densidad tenemos:

$$VST = 3866.88 \text{ kg} = 3866.88L$$

$$VST = 3.86 \text{ m}^3$$

$$VST = 3.86 \text{ m}^3$$

Calculamos la altura de la tubería:

$$VST = \frac{(\pi * D^2)}{4} * ht$$

$$ht = \frac{VST * 4}{\pi * D^2}$$

$$ht = \frac{3.86 * 4}{\pi * 3.8^2}$$

$$ht = 0.32m$$

La limpieza del biodigestor se realizará cada 4 meses, por lo que

$$ht = 0.32m * 4$$

$$ht = 1.28m$$

El cálculo de para la altura de la tubería de entrada desde la base del biodigestor es de 1.28 m, al tomar en cuenta que la limpieza se realizará cada 4 meses, la altura del tubo de salida será de 0.6 m, mientras que la tubería de entrada del fluido tendrá 1.40 m de altura desde la base del biodigestor.

### 3.4 Determinación de la eficiencia.

Para determinar la eficiencia con la que trabajará el biodigestor se utiliza la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{PBR}{PBT} * 100\%$$

Donde:

$\eta$ = Eficiencia del Biodigestor

PBR= Producción de Biogás Real

PBT= Producción de Biogás Teórica

Se calcula la cantidad teórica de biogás que produce la misma masa de gallinaza utilizada en el biodigestor a escala (7.5Kg)

$$PBT = 7.5 \text{ kg} * \frac{0.40 \text{ kg ST}}{1 \text{ kg}} * \frac{0.2 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ kg ST}} = 0.6 \text{ m}^3 \text{ biogás}$$

$$PBR = 0.232 \text{ m}^3 \text{ biogás}$$

$$\eta = \frac{PBR}{PBT} * 100\%$$

$$\eta = \frac{0.232}{0.6} * 100\%$$

$$\eta = 38.66\%$$

## CAPÍTULO IV

### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se pueden observar tablas con los valores obtenidos de la cuantificación, la caracterización, del modelo experimental, y las dimensiones del biodigestor propuesto.

#### 4.1 Resultados de la cuantificación de gallinaza de la avícola “Bilbao”

Se determinó que de los galpones 25 carretilladas son de gallinaza fresca (útil).

Tabla 1-4 Cuantificación de la gallinaza útil (Semana 1)

Día	# carretilladas	Peso Prom./carret.	Unidades
1	2	198,5	lb
2	3	203	lb
3	4	195,3	lb
4	3	199,4	lb
5	4	200	lb
6	3	197,5	lb
7	5	199,4	lb
<b>TOTAL/PROM</b>	<b>24</b>	<b>199,01</b>	<b>lb</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Tabla 2-4 Cuantificación de la gallinaza útil (Semana 2)

Día	# carretilladas	Peso Prom./carret.	Unidades
1	3	200,1	lb
2	2	197,3	lb
3	4	196,4	lb
4	2	199,4	lb
5	4	197,5	lb
6	6	199,3	lb
7	4	199,4	lb
<b>TOTAL/PROM</b>	<b>25</b>	<b>198,49</b>	<b>lb</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Tabla 3-4 Cuantificación de la gallinaza útil (Semana 3)

<b>Día</b>	<b># carretilladas</b>	<b>Peso Prom./carret.</b>	<b>Unidades</b>
1	1	198	lb
2	2	199,5	lb
3	5	198,5	lb
4	6	199,4	lb
5	3	200,1	lb
6	4	199,5	lb
7	4	200	lb
<b>TOTAL/PROM</b>	<b>25</b>	<b>199,25</b>	<b>lb</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Tabla 4-4 Determinación Promedio de la gallinaza útil

<b>Semana</b>	<b># carretilladas</b>	<b>Peso Prom.</b>	<b>TOTAL SEMANAL</b>
1ra	24	199,01lb	4776,24lb
2da	25	198,49lb	4962,25lb
3ra	25	199,25lb	4981,25lb
<b>PROM</b>	<b>25</b>	<b>198,92lb</b>	<b>4972,92lb</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

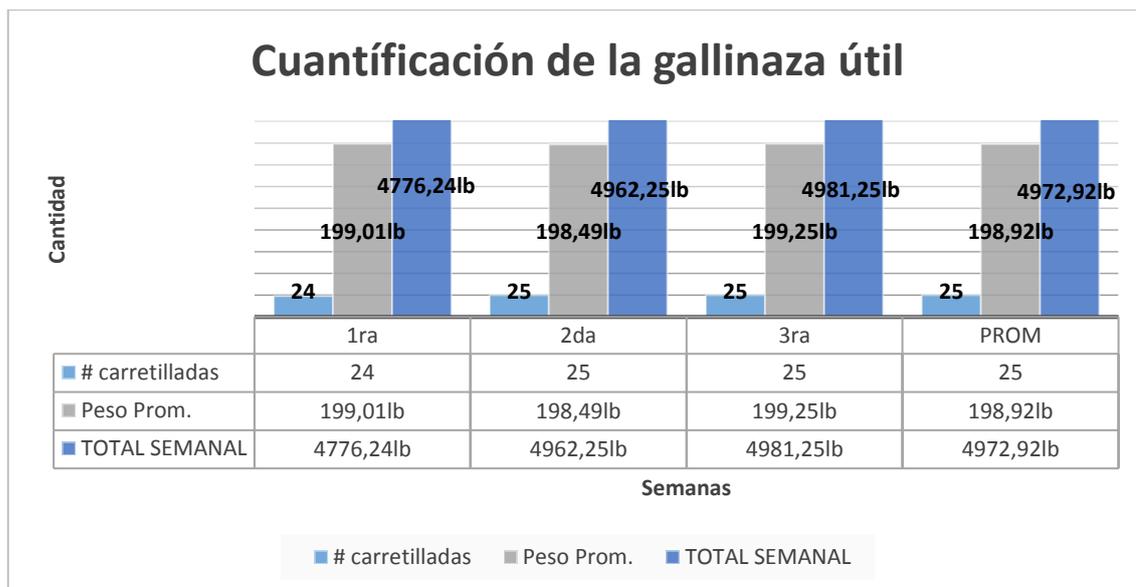


Gráfico 1-4 Cantidad de Gallinaza Util

Realizado por: Jaime Inca, 2016

La cantidad de gallinaza útil para la alimentación del biodigestor, tuvo un promedio de 4972,92 lb, durante las tres semanas de observación y cuantificación.

Se determinó la cantidad de gallinaza total generada en promedio: 150 carretilladas a la semana.

Tabla 5-4 Cuantificación de la gallinaza Total de la Avícola (Semana 1)

Día	# carretilladas	Peso Prom./carret.	TOTAL SEMANAL (lb)
1	12	198,60	2383,20
2	19	197,80	3758,20
3	20	199,00	3980,00
4	22	198,50	4367,00
5	23	199,10	4579,30
6	28	198,60	5560,80
7	25	198,30	4957,50
<b>TOTAL</b>	<b>149</b>	<b>198,56</b>	<b>29585,01</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Tabla 6-4 Cuantificación de la gallinaza Total de la Avícola (Semana 2)

<b>Día</b>	<b># carretilladas</b>	<b>Peso Prom./carret.</b>	<b>TOTAL SEMANAL (lb)</b>
1	19	200,20	3803,80
2	22	197,50	4345,00
3	21	200,30	4206,30
4	20	198,50	3970,00
5	20	199,50	3990,00
6	25	198,80	4970,00
7	24	200,10	4802,40
<b>TOTAL</b>	<b>151</b>	<b>199,27</b>	<b>30089,99</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

Tabla 7-4 Cuantificación de la gallinaza Total de la Avícola (Semana 3)

<b>Día</b>	<b># carretilladas</b>	<b>Peso Prom.</b>	<b>TOTAL SEMANAL (lb)</b>
1	18	200,25	3604,50
2	17	200,40	3406,80
3	22	197,70	4349,40
4	25	197,80	4945,00
5	26	197,75	5141,50
6	19	199,80	3796,20
7	23	198,80	4572,40
<b>TOTAL</b>	<b>150</b>	<b>198,93</b>	<b>29839,29</b>

Realizado por: Jaime Inca, 2016

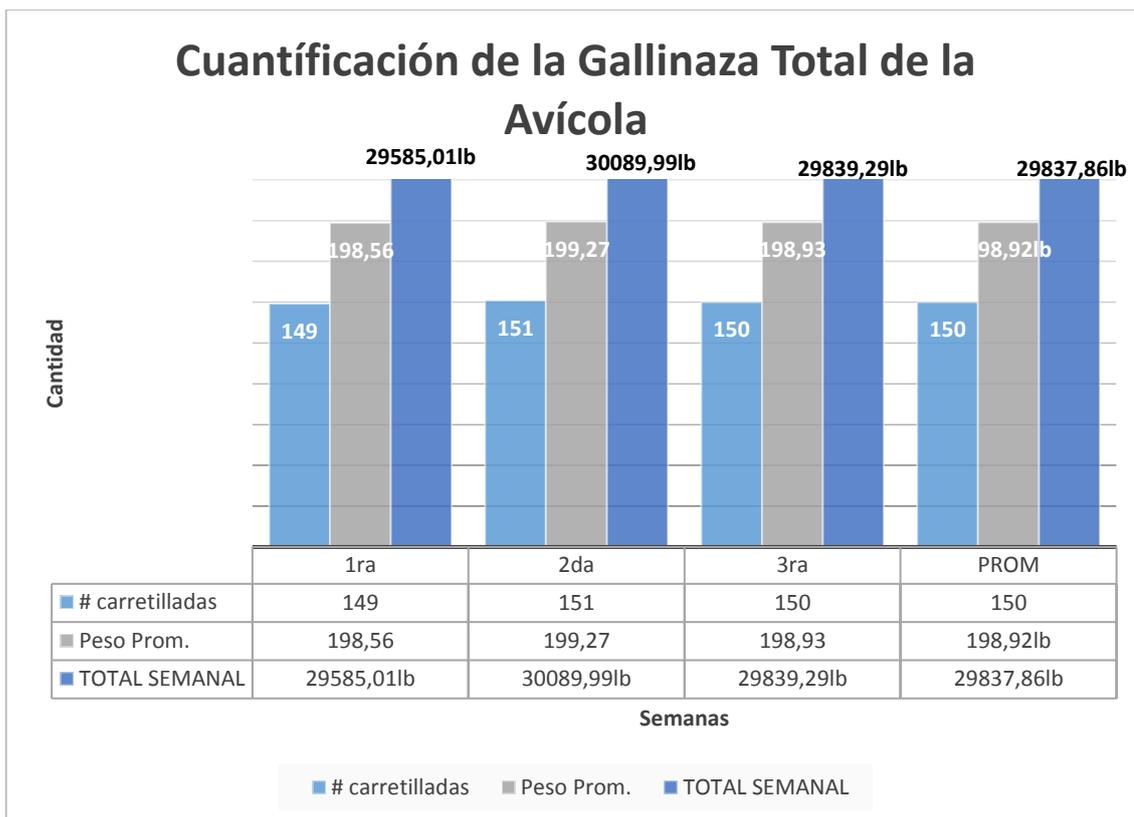


Gráfico 2-4 Cantidad de Gallinaza Total

Realizado por: Jaime Inca, 2016

## 4.2 RESULTADOS DE MODELO A ESCALA.

### 4.2.1 Monitoreo del Biodigestor a Escala

Tabla 8-4 Temperatura y Producción de Biogás

# Día	Fecha	Hora (8h00)		Hora (12h00)		Hora (16h00)		Biogás Vol (ml)
		T° Biodig	T° Amb	T° Biodig	T° Amb	T° Biodig	T° Amb	
Día 1	22/12/2015	19	19	20,1	21	21,1	21	-
Día 2	23/12/2015	19,2	18	22,3	21	22,6	22	-
Día 3	24/12/2015	19,4	18	23,2	22	24,2	23	50
Día 4	25/12/2015	23,3	18	24,1	23	25,1	22	250
Día 5	26/12/2015	23,5	17	23,7	23	24,3	22	630
Día 6	27/12/2015	24,2	19	24,8	24	25,6	24	720
Día 7	28/12/2015	24,5	17	24,9	23	25,7	24	890
Día 8	29/12/2015	26,7	18	27,5	25	28,4	23	940
Día 9	30/12/2015	26,2	18	27,2	26	28,5	24	1200
Día 10	31/12/2015	22,5	19	28,9	24	29,3	25	1740
Día 11	1/1/2016	26,6	16	33,8	23	32,5	24	1950
Día 12	2/1/2016	25,7	16	33,4	24	33,8	23	2230

Día 13	3/1/2016	28,8	18	31,6	25	32,4	24	2440
Día 14	4/1/2016	30,3	19	30,7	23	31,3	23	2500
Día 15	5/1/2016	32,4	18	33,4	22	34,2	22	2667
Día 16	6/1/2016	36,2	19	38,5	21	37,8	23	2880
Día 17	7/1/2016	35,6	18	36,9	22	38,2	22	2930
Día 18	8/1/2016	34,2	19	38,7	24	39,3	23	3100
Día 19	9/1/2016	34,9	18	37,6	23	38,4	23	3340
Día 20	10/1/2016	34,5	19	35,8	23	36,3	24	3680
Día 21	11/1/2016	34,2	18	35,8	24	37,2	24	4040
Día 22	12/1/2016	34,7	19	35,7	21	37,3	20	4200
Día 23	13/1/2016	33,7	18	35,8	24	36,4	22	4650
Día 24	14/1/2016	33,4	18	35,4	22	36,7	21	4880
Día 25	15/1/2016	33,5	17	35,6	21	37	20	5050
Día 26	16/1/2016	33	16	35,7	22	37,3	21	5260
Día 27	17/1/2016	33,3	16	36,1	23	37,6	22	5600
Día 28	18/1/2016	34,1	18	36,3	22	37,4	22	5800
Día 29	19/1/2016	34,1	17	36,4	22	37,5	23	6300
Día 30	20/1/2016	34,3	18	36,1	22	37,6	23	6850
Día 31	21/1/2016	34,5	18	36,3	23	37,6	24	7350
Día 32	22/1/2016	34,2	18	36,2	21	37,7	22	7510
Día 33	23/1/2016	34,3	17	36,4	22	37,3	22	7989
Día 34	24/1/2016	34,4	17	36,4	22	37,5	23	8130
Día 35	25/1/2016	33,8	15	36,3	20	36,8	21	8467
Día 36	26/1/2016	33,6	16	36,38	20	37,1	21	8995
Día 37	27/1/2016	34,1	18	36,5	21	37,6	21	9396
Día 38	28/1/2016	34,3	19	36,4	22	37,8	22	9828
Día 39	29/1/2016	34,7	18	36,6	22	37,6	22	10261
Día 40	30/1/2016	34,8	17	36,5	22	37,7	23	10693
Día 41	31/1/2016	34,6	17	36,5	22	37,8	23	11126
Día 42	1/2/2016	34,5	15	36,7	20	38	21	12505
Día 43	2/2/2016	34,6	17	36,3	21	37,7	21	10456
Día 44	3/2/2016	34,4	17	36,4	21	37,3	22	10300
Día 45	4/2/2016	34,7	18	35,8	22	37,5	23	10700
<b>T° Δ</b>		31,14	18	33,37	22	34,31	22	230772,30
<b>T°Δ BIOD</b>		<b>32,94</b>						
<b>T°Δ AMB</b>		<b>21</b>						

Realizado por: Jaime Inca, 2016

#### 4.2.2 Variación de Temperatura

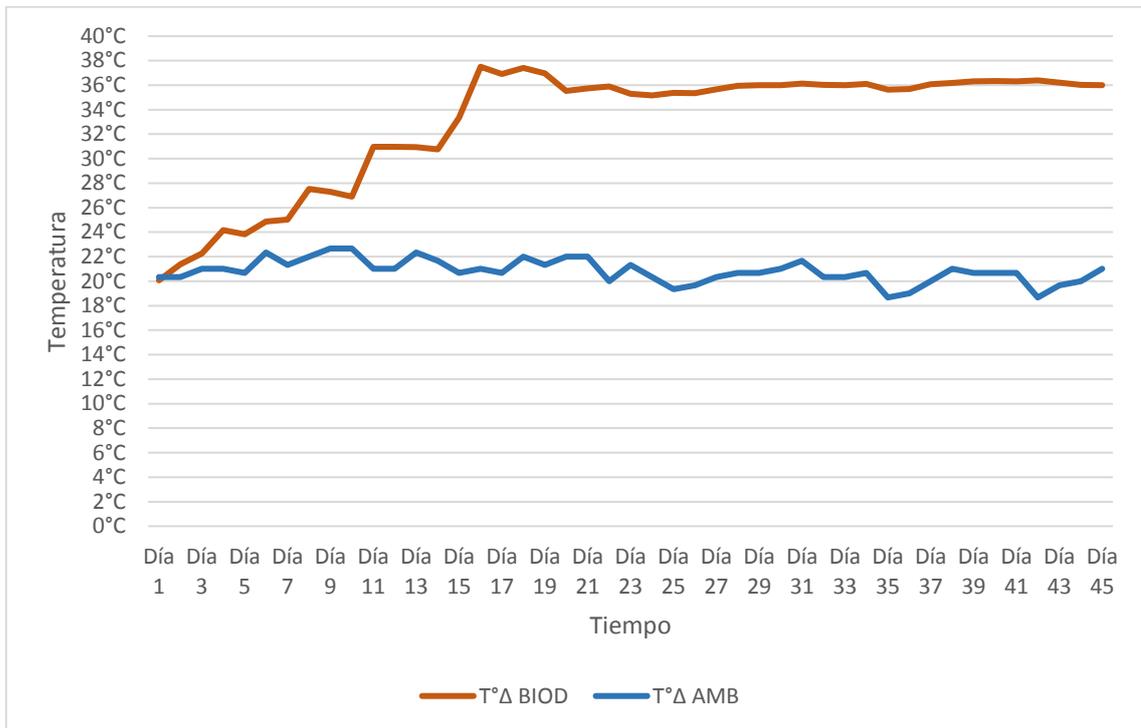


Gráfico 3-4 Variación de Temperatura

Realizado por: Jaime Inca, 2016

En la gráfica de Variación de temperatura tenemos el monitoreo de la temperatura dentro del biodigestor a escala, como de la temperatura externa (ambiente). Tenemos un rango que va desde los 20°C a los 38°C durante el transcurso de los 45 días, se puede notar un incremento significativo desde el 3 día hasta el día 15, donde alcanzó el punto más alto, posteriormente la temperatura se estabiliza desde el día 19 hasta el día 45, con variaciones no tan significativas, esto se debe a que las bacterias se estabilizan al igual que el proceso de biodegradación.

#### 4.2.3 Producción de Biogás

Desde el 3er día empezó a generarse biogás, pero la fracción inflamable ( $\text{CO}_2$ ), esto ocurre por la hidrólisis de la gallinaza, ejercido por las bacterias hidrolíticas, que transforman los compuestos orgánicos solubles, generando  $\text{CO}_2$  como producto del metabolismo bacteriano.

A los 15 días se obtuvo una medición de biogás de 2667ml, al realizar la prueba de flama se distingue una llama amarilla que indica un mayor porcentaje de  $\text{CO}_2$  que de  $\text{CH}_4$ .

A los 30 días se obtuvo una medición de biogás de 6850ml, realizó la segunda prueba de flama, con igual resultado que la prueba anterior, la llama generada es de color amarilla.

A los 45 días el biogás medido fue 11500ml, se realiza nuevamente la prueba de flama, y se obtiene una llama azul, demostrando que el biogás se estabilizó, disminuyendo la cantidad de CO<sub>2</sub> y aumentando la cantidad de CH<sub>4</sub>.

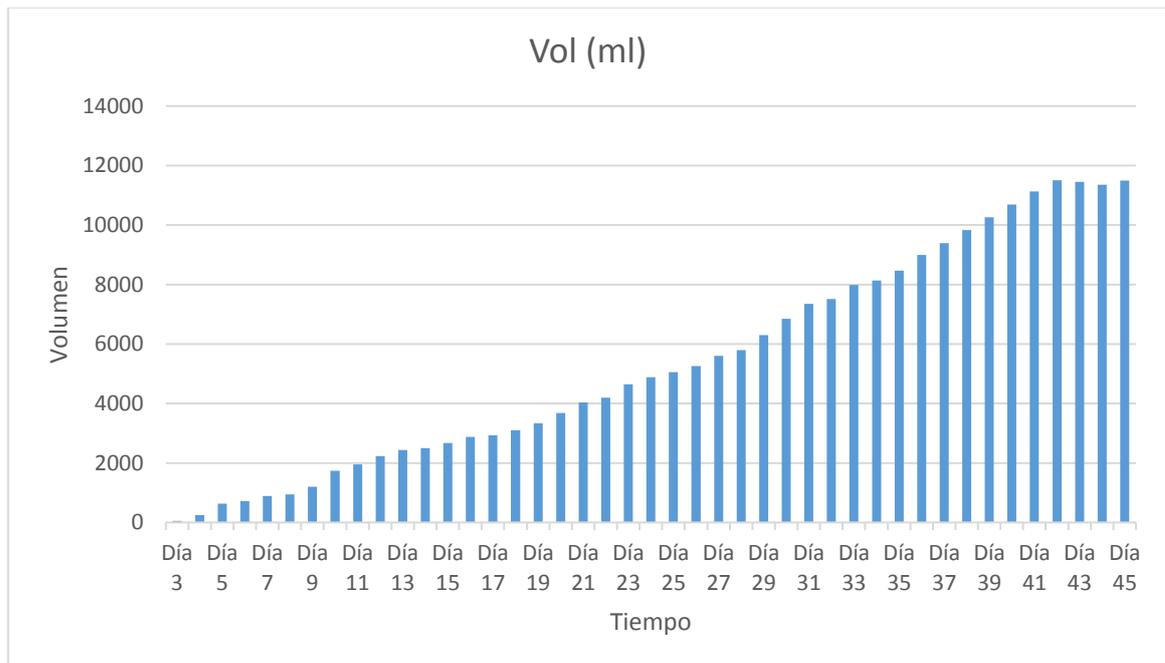


Gráfico 4-4 Volumen de Biogás

Realizado por: Jaime Inca, 2016

La cantidad de biogás total, generado por el biodigestor a escala durante los 45 días es de **232,322L (0.232m<sup>3</sup>)**.

La eficiencia de producción del biodigestor a escala fue muy baja al comparar la producción de biogás real con la producción teórica, se obtuvo un porcentaje del 38%, lo que pudo ocasionarse por fugas de gas, cambios de temperatura, entre otros factores.

#### 4.2.4 Resumen del Biodigestor a Escala.

Tabla 9-4 Resultados de Caracterización del biodigestor a Escala.

N°	Descripción	Unidades	Resultado
1	Capacidad del biodigestor	L	20
2	Volumen del sustrato	L	15
3	Relación estiércol-agua	-	1:1
4	Cantidad de estiércol	L ó kg	7.5
5	Cantidad de agua	L ó Kg	7.5
6	Temperatura media	°C	32.94
7	Tiempo de retención	Días	45
8	Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0,995
9	Viscosidad	g/cm. S	23,7
10	Conductividad	mS	66,7
11	Sólidos Disueltos totales	ppm	665
12	Sólidos Totales	%	40

Realizado por: Jaime Inca, 2016

#### 4.3 Criterios para la selección del diseño del biodigestor

Se encontró que el principal problema en la granja avícola Bilbao, es la acumulación excesiva de gallinaza, que se almacena en una especie de invernadero, y una parte es arrojada en los pastizales, por lo cual se diseñó un biodigestor, con el fin de aprovechar de una mejor manera la materia orgánica, que se arroja sobre los pastizales, y así minimizar el efecto que puede producir directamente sobre estos.

Para el diseño se toma en cuenta el tiempo de retención de 45 días, la cantidad de materia orgánica, el requerimiento energético, las condiciones climáticas, y varios factores que influyen para proponer el diseño adecuado a los requerimientos de la granja avícola.

El digestor que se propone es el de tipo chino, la elección se hizo ya que trabaja con tiempos de retención altos, los materiales de construcción son resistentes y duraderos, al conocer que en el diseño a escala, la producción real fue menor a la teórica, se toma en cuenta este factor para la elección del modelo chino, se sabe que la eficiencia de producción de biogás es menor comparado con el tipo hindú, pero el bioabono que se produce es bueno y al existir la presencia

de pastizales en la granja y en sus cercanías, se puede aprovechar el bioabono que se genera, como producto primordial del biodigestor, a continuación se detalla los motivos de la selección del tipo de digestor modelo chino.

Tabla 10-4 Criterios de selección del tipo de biodigestor

<b>Parámetros</b>	<b>Biodigestor tipo chino</b>
Tipo de Materia Prima	Al ser la gallinaza la materia prima el biodigestor tipo chino es una opción adecuada, ya que el uso que se le ha dado es para la transformación principalmente de estiércol en biogás.
Material del biodigestor	El material con que se construye el biodigestor tipo chino, será de concreto, ya que ofrece una resistencia excelente y el costo es accesible.
Uso de espacio físico	El área que utilizará será moderada, ya que es un digestor que se construye bajo tierra, lo que optimiza el espacio del terreno en donde será construido.
Vida útil	Al ser construido en un material resistente como es el concreto, la vida del digestor se sitúa entre 20-25 años dependiendo del mantenimiento que se le dé.
Mantenimiento	El mantenimiento en este tipo de biodigestores es sencillo y se lo debe realizar cada 6 meses.
Rendimiento	El rendimiento de biogás es bajo, y el principal rendimiento que se obtiene en este tipo de digestor es la producción de bioabono.

Realizado por: Jaime Inca, 2016

### 4.3.1 Esquema del funcionamiento del Biodigestor.

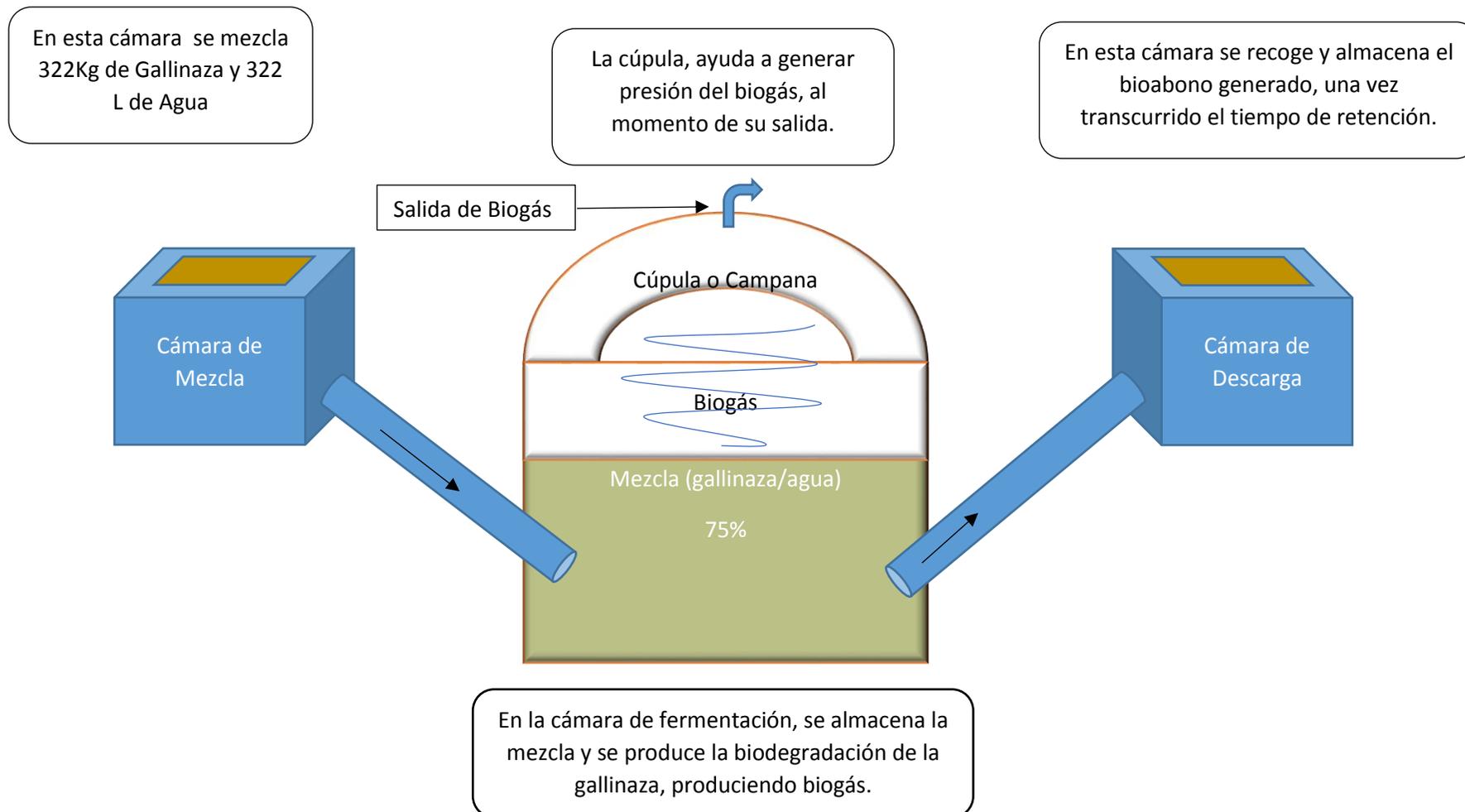


Gráfico 5-4 Esquema del funcionamiento del Biodigestor

Realizado por: Jaime Inca, 2016

#### 4.3.2 Resumen del dimensionamiento del biodigestor.

Las dimensiones para el de diseño del biodigestor se realizaron en los cálculos del capítulo III, para lo cual se aproximaron los valores.

Tabla 11-4 Dimensiones del biodigestor

Descripción	Símbolo	Resultado	Unidades
Cantidad de gallinaza	Cg	322	Kg
Cantidad de mezcla	Cm	644	Kg
Volumen del Biodigestor	VT	41.24	m <sup>3</sup>
Altura Toral Interna del Biodigestor	HT	4.22	m
Producción de Biogás	Vbiog	25.78	m <sup>3</sup>
<b>Cámara de Digestión</b>			
Volumen	Vcd	34	m <sup>3</sup>
Diámetro del interior	d	3.8	m
Diámetro Exterior	D	4.0	m
Altura	H	2.99	m
<b>Cúpula Superior</b>			
Altura de la cúpula superior	hcs	0.75	m
Radio de la curvatura de la cúpula superior	r1	2.8	m
Volumen de la cúpula superior	Vcs	4.46	m <sup>3</sup>
<b>Cúpula Inferior</b>			
Altura de la cúpula inferior	hci	0.48	m
Radio de la curvatura de la cúpula inferior	r2	4	m
Volumen de la cúpula inferior	Vci	2.78	m <sup>3</sup>
<b>Compuerta de Limpieza</b>			
Longitud	L	0.8	m
Ancho	A	0.8	m
Ceja	-	0.08x0.05	m
<b>Escalera de ingreso a la cámara de Digestión</b>			
Longitud	Lesc	0.20	m
Ancho	Aesc	0.15	m
Diámetro de la varilla	-	0.02	m
Espacio entre escalones	-	0.30	m
<b>Cámara de Alimentación/Salida</b>			
Longitud	L	1	m
Altura	h	1	m
Ancho	A	1	m
<b>Tubería de Alimentación</b>			
Diámetro	ØTbal	250	mm
Longitud	Ltbal	1.81	m

Tubería de Descarga			
Diámetro	ØTbdes	5	”
Longitud	Ltbdes	2.09	m
Tubería de Gas			
Diámetro	ØTbga	1.5	”

\*Las dimensiones detalladas se encuentran en los planos

## CONCLUSIONES

- Se logró cuantificar la cantidad de gallinaza generada por las aves de postura de la granja avícola Bilbao, esto se llevó a cabo mediante el pesado de cubetas con gallinaza fresca, las mismas que sirven para llenar carretillas con las que normalmente se despeja los galpones del exceso de gallinaza.

Se obtuvieron como resultados: Gallinaza Total: 29837.86lb (13.53Tn) a la semana, de los cuales en el proceso se utiliza el 16.67% correspondiente a la gallinaza útil (fresca): 4972.92lb (2.255Tn) a la semana.

- Se logró determinar los parámetros óptimos para el diseño del biodigestor, esto se concretó por medio de los métodos utilizados en los análisis de laboratorio, y por medio del experimento a escala obteniéndose un volumen de carga es de 644 L/día, en relación 1:1 de gallinaza con agua, y un tiempo de retención de 45 días para iniciar el proceso de degradación, los cálculos del diseño cumple con un factor de seguridad del 5-10%, la capacidad total del biodigestor es de 41.24 m<sup>3</sup>, su altura de 4.22m, y 3.8m de diámetro, la temperatura media dentro del biodigestor fue de 32.94°C.

El diseño consta de 1 tanque o cámara de digestión de forma cilíndrica, debido a que esta geometría carece de vértices y evita la fuga de gas por las mismas, a los extremos de la cámara de digestión tiene 2 cúpulas de forma cóncava y convexa, lo que ayuda a que exista una presión del biogás uniforme, y a su vez ayuda a la salida del biol. Los planos del biodigestor detallan cada parte calculada para el diseño del biodigestor.

- Se seleccionó el biodigestor tipo chino, tomando en cuenta la producción de gallinaza y el tratamiento que se le da a esta, así como su disposición final y el posible beneficio que se obtendría al tratarla por medio del biodigestor.
- Se pudo determinar la eficiencia de producción de biogás que tendrá el biodigestor, por medio de un cálculo, obteniendo un porcentaje del 38,66%, lo que indica que la producción de biogás no es tan alta a nivel experimental, lo que representaría un contra al momento de elegir si se construirá el biodigestor, por otra parte al tener gallinas adultas en la granja, y el requerimiento energético de la misma no es alto, se toma en cuenta la producción de biol, volviéndolo un punto a favor, ya que al existir la demanda de pastizales para la alimentación de ganados alrededor de la granja, ayudaría a mejorar la calidad de los pastos.

## RECOMENDACIONES

- Para la cuantificación de la gallinaza, se recomienda marcar un aforo en el recipiente en el que se recolectará el estiércol, para facilitar la determinación del volumen y del peso del estiércol.
- Al momento de construir un prototipo es recomendable, que el recipiente sea cilíndrico, que se verifiquen fugas llenando el recipiente con un líquido como agua, si existen fugas, sellarlas adecuadamente con silicona o algún pegamento que no filtre.
- El biodigestor debe ubicarse cerca del lugar en donde se recolecta el estiércol, en este caso cerca de los galpones, con el fin de reducir el trabajo al momento de transportar y llenar el biodigestor.
- El biodigestor, deberá ser construido en un lugar adecuado en donde pueda captar la mayor cantidad de rayos solares, para que la temperatura dentro del biodigestor pueda aumentar.
- Se debe construir por lo menos a 20 metros de distancia de algún cauce hídrico o fuentes de agua, para prevenir la contaminación de estos.
- Al momento de construir el biodigestor se recomienda brindar EPP para los trabajadores.
- Se recomienda colocar válvulas de seguridad para prevenir cualquier accidente por exceso de acumulación de presión.
- Se recomienda al propietario de la granja avícola “Bilbao” la ejecución de este proyecto, con el fin de beneficiar a su granja, y ser ejemplo que impulse a los propietarios de las granjas avícolas de alrededor, a implementar la tecnología de los biodigestores, para una mejor disposición final del excremento proveniente de las avícolas.
- Se recomienda continuar con investigaciones específicas en la producción de biogás a partir de la gallinaza, para poder aprovecharla de una manera más eficiente, con el fin de que se pueda producir energía eléctrica, y además generar energías alternativas a las provenientes del petróleo, es decir utilizarla como combustible que reemplacen los combustibles obtenidos del petróleo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ALBARRACÍN, D.** *Biblioteca del campo. Granja integral autosuficiente. Manual de la granja integral.* 3ra ed. Santa fé de Bogotá-Colombia: Editorial Disloque, 1995. pp. 140-147.
2. **ALKALAY, Daniel.** *Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía.*[en línea]. Departamento de Montes, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaiso-Chile: FAO Document Repository, 2014.[Consulta: 2 junio 2015]. Disponible en: [www.fao.org/docrep/006/AD098S/AD098S08.htm](http://www.fao.org/docrep/006/AD098S/AD098S08.htm)
3. **APHA-AWWA-WEF. 2005.** *Métodos Estandar de Análisis de agua y aguas residuales.* 21. New York, 2005. págs. 55-56.
4. **ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICACIÓN DE AGRONUTRIENTES. Gallinaza.** AEFA. [en línea] 2009. [Consulta: 18 diciembre 2015.]. Disponible en: <http://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/gallinaza>.
5. **BESEL, S.A. (Departamento de Energía).** *Biomasa: Digestores anaerobios.* Madrid : IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) , 2007. pp. 7-10.
6. **BIODIGESTORES.** *Biodigestores, Una Alternativa Tecnologica Para El Futuro.* [Blog] 22 Junio 2012. [Consulta: 7 enero 2016.]. Disponible en: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/ventajas.html>.
7. **BIOMASA.** *textoscientificos.com.* [en línea] 10 de Noviembre de 2014. [Consulta: 10 noviembre 2015.]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>.
8. **DIBLACI, E.** *Energías Limpias.* [en línea]. Biogás. 2004. [Consulta: 22 noviembre 2015.]. Disponible en: [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/676/otras\\_energias/biogas/Index\\_biog.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/Index_biog.htm).
9. **DURÁN, Felipe.** *Volvamos al Campo: Manual de cultivos Orgánicos y Alelopatía.* 2da ed. Bogotá-Colombia : Grupo Latino Editores Ltda., 2011, pp. 118-122.
10. **FERNÁNDEZ, Jesús.** "Energía de la Biomasa". *Energía Renovable para todos*, n° 4, (19 noviembre 2006), pp. 20.
11. **FINCK, Hurst.** *El biogás y sus aplicaciones.* 2da ed. La Paz-Bolivia : Presenca, 2009. pp. 88.
12. **GARCÍA, K.** *Codigestión Anaeróbica de Estiércol y Lodos de Depuradora para Producción de Biogás.* [en línea] (tesis pregrado) Universidad de Cadiz. Facultad de

- Ciencias del Mar y Ambientales. Cadiz, España. 2009. [consulta: 18 agosto 2015].  
Disponible en:  
<http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/VERSION%20FINAL.pdf?sequence=1>
13. **GENE, P y OWEN, W.** "Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. Journal". *Journal of Environmental Engineering* [en línea], n° 112, American Society of Civil Engineers (1986),(United States of America), pp. 867-916. [consulta: 18 agosto 2015].  
Disponible en:  
[http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1986\)112:5\(867\)#aHR0cDovL2FzY2VsaWJyYXJ5Lm9yZy9kb2kvcGRmLzEwLjEwNjE vKEFTQ0UpMDczMy05MzcyKDE5ODYpMTEyOjUoODY3KUBAQDA=](http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/(ASCE)0733-9372(1986)112:5(867)#aHR0cDovL2FzY2VsaWJyYXJ5Lm9yZy9kb2kvcGRmLzEwLjEwNjE vKEFTQ0UpMDczMy05MzcyKDE5ODYpMTEyOjUoODY3KUBAQDA=)
  14. **GTZ. Corporación Autónoma Regional del Cauca.** *Difusión de la tecnología del biogás en Colombia; documentación del proyecto.* Cali, Colombia : Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, 1987. pp. 189.
  15. **GUARDADO, J.** *Diseño y construcción de plantas de biogás.* [en línea]. Ideassonline.org, 2007. [Consulta: 3 enero 2016]. Disponible en:  
[http://www.ideassonline.org/public/pdf/CUBASOLAR\\_Disenio\\_y\\_construccion\\_de\\_plantas\\_de\\_biogas.pdf](http://www.ideassonline.org/public/pdf/CUBASOLAR_Disenio_y_construccion_de_plantas_de_biogas.pdf).
  16. **GUEVARA VERA, Antonio.** *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores Rurales: Producción de gas y sanamiento de Efluentes.* División de salud y Ambiente, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú : OPS/CEPIS, 1996. pp. 80.
  17. **HARRIS, Paul.** *Beggins Guide to Biogas.* [en línea]. The University of Adelaide. 10 noviembre 2014. [consulta: 5 febrero 2016]. Disponible en:  
<http://www.adelaide.edu.au/biogas/>.
  18. **LARA, E S. & HIDALGO, M.** *Diseño de un bioreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi- Epoch.* (tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador. 2011.
  19. **LÓPEZ P, Antonio Carlos.** *Valorización del Estiércol de Cerdo a Través de la Producción de Biogás.* Bogotá, Colombia. : Artes Gráficas, 2003. págs. 78-83.
  20. **MCCARTY, Perry.** "Anaerobic waste treatment fundamentals Part III: Toxic materials and their control". *Public Works.*[en línea], Octubre de 1964,(Estados Unidos). pp. 91-94.[Consulta: 22 julio 2015]. Disponible en:  
<http://extension.psu.edu/natural-resources/energy/waste-to-energy/resources/biogas/links/the-anaerobic-digestion-process/mccarty-anaerobic-overview.pdf>

21. **MÉNDEZ, Carlos Luis.** *Biomasa: alternativa sustentable para la producción de Biogás.* [En línea] 2008. [Consulta: 27 octubre 2015.]. Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa.shtml>.
22. **METCALF, Eddy.** *Fundamento de los tratamientos Biológicos del agua residual, tratamiento y rehuso.* 4ta ed. New York, Estados Unidos de Norte América : MarGrowHill, 2003. pp. 563-644.
23. **MONTES C, María E.** *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás.* [en línea] (tesis) (doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. Madrid, España. 2008. pp. 22-55. [Consulta: 22 marzo 2016.]. Disponible en:  
[http://oa.upm.es/1049/1/MARIA\\_ESTELA\\_MONTES\\_CARMONA.pdf](http://oa.upm.es/1049/1/MARIA_ESTELA_MONTES_CARMONA.pdf)
24. **OYALA, Yeison. & GONZALES, Luis.** *Fundamentos para el diseño de Biodigestores.* [en línea] (Módulo para la asignatura de construcciones agrícolas.), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración. Bogotá, Colombia. 2009. [Consulta: 23 abril 2016.]. Disponible en:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
25. **PAREDES, Andres.** *Diseño de un biorreactor para la obtención de biogás y bioabono a partir de residuos orgánicos en el Cantón Patate.* (tesis pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 86.
26. **PERRY, Robert.** *Manual del Ingeniero Químico.* 6ta ed . New York, Estados Unidos de Norte América . : McGraw Hill , 1974. pp. 2577.
27. **PLANTA DE BIOGAS.** Sofos Energía. [en línea] 2010. [Consulta: 25 marzo 2016.]. Disponible en:  
<http://www.sofos.es/plantas-de-biogas/>.
28. **PONTÓN, D.** *Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante los residuos sólidos orgánicos generados en el Cantón Joya de Los Sachas.* (tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad De Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2010. pp. 45-54.
29. **REVOLORIO, Hosni.** *Diseño de un biorreactor de membrana para la regeneración de las aguas residuales en un establecimiento hotelero.* [en línea] (tesis pregrado), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería. Guatemala. 2010. [Consulta: 10 febrero 2016.]. Disponible en:  
[http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3130\\_C.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3130_C.pdf)
30. **SISTEMA BIOBOLSA.** *Manual de BIOL.* [en línea] 12 Marzo 2016. [Consulta: 19 abril 2016.]. Disponible en:

- [http://sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2016/03/12.-MANUAL-DEL-BIOL\\_16.pdf](http://sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2016/03/12.-MANUAL-DEL-BIOL_16.pdf).
31. **TOALA, Edwin.** *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica.* (tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 138
  32. **UNIVERSO PORCINO.** *Instalaciones porcinas: Biodigestores.* [en línea] El portal del Cerdo. 9 abril 2008. [Consulta: 27 enero 2016.]. Disponible en:  
[http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/que\\_es\\_un\\_biodigestor.html](http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/que_es_un_biodigestor.html).
  33. **VARGAS, Miguel.** *Introducción a las energías alternativas con experimentos sencillos.* [en línea] La Paz, Bolivia. 2006. pp. 1-8. [Consulta: 11 enero 2016.]. Disponible en:  
<http://www.cienciafacil.com/energiascapitulo1.pdf>
  34. **VARNERO, María Teresa.** *Manual de biogás.* [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. 2011, (Chile) pp. 119. [Consulta: 17 noviembre 2015.]. Disponible en:  
[www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf](http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf)
  35. **VERDEZOTO, Darwin Eduardo.** *Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca los laureles en la comunidad flor del manduro.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. 2014. pp. 161.
  36. **WILLIAMS, Charles.** "Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo". [en línea]. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)* (2011) (North Carolina, Estados Unidos de América). pp. 1-5. [Consulta: 11 octubre 2015.]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/al715s/al715s00.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A. RECOLECCIÓN DE LAS EXCRETAS



Fotografía 1 Ingreso al galpón para la recolección.



Fotografía 2 Recolección de gallinaza fresca.



Fotografía 3 Recolección de gallinaza semi-fresca



Fotografía 4 Llenado de la cubeta con gallinaza.

## DETERMINACIÓN DEL PESO DE LA GALLINAZA



Fotografía 5 Peso de la gallinaza semi-húmeda



Fotografía 6 Peso de la gallinaza húmeda

## ANEXO B. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO A ESCALA



Fotografía 7 Materiales para la construcción Biodigestor a escala



Fotografía 8 Colocación del acople a la tapa



Fotografía 9 Unión cubierta de teflón.



Fotografía 10 Unión entre el acople de la tapa y la salida a la manguera de gas



Fotografía 11 Llenado del Biodigestor a escala.



Fotografía 12 Pesaje de la gallinaza en el modelo a escala.



Fotografía 13 Medición de la temperatura del Biodigestor a escala.



Fotografía 14 Toma de muestra para análisis

## ANEXO C. INSTALACIONES GRANJA AVÍCOLA BILBAO



Fotografía 15 Interior de los galpones



Fotografía 16 Pastizales de la granja



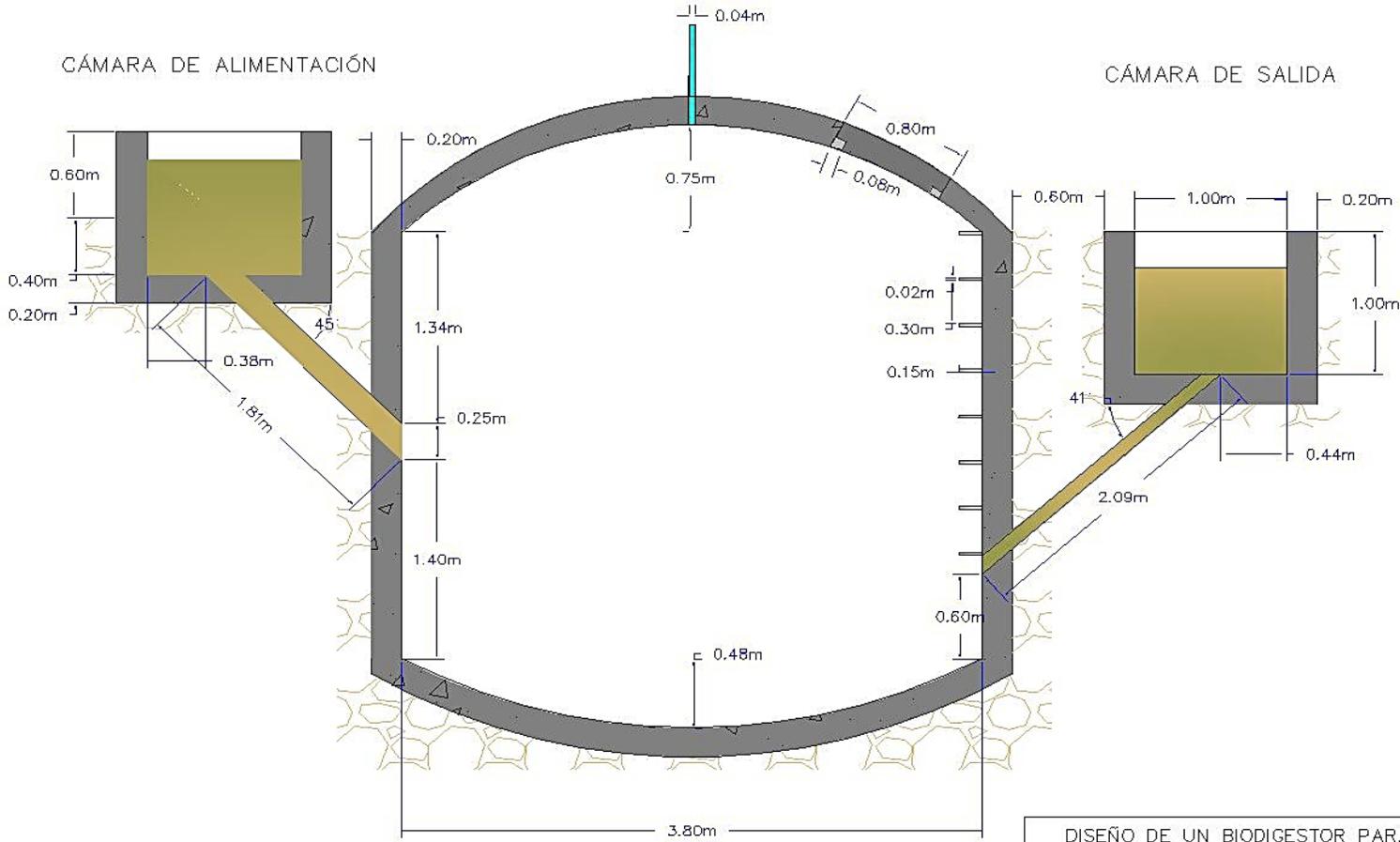
Fotografía 17 Exterior de los galpones



Fotografía 18 Almacenamiento de la gallinaza

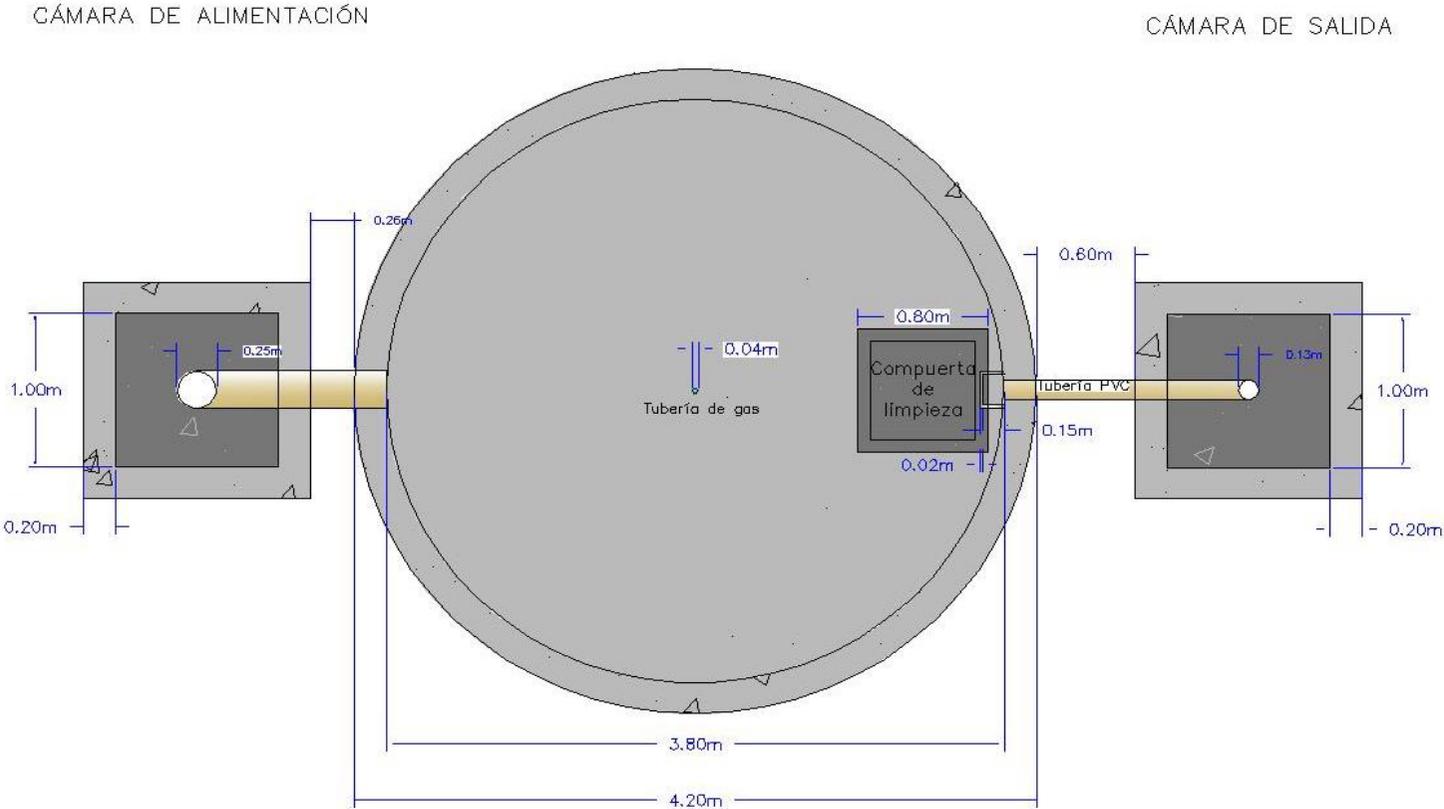
**ANEXO D PLANOS**

**BIODIGESTOR TIPO CHINO**



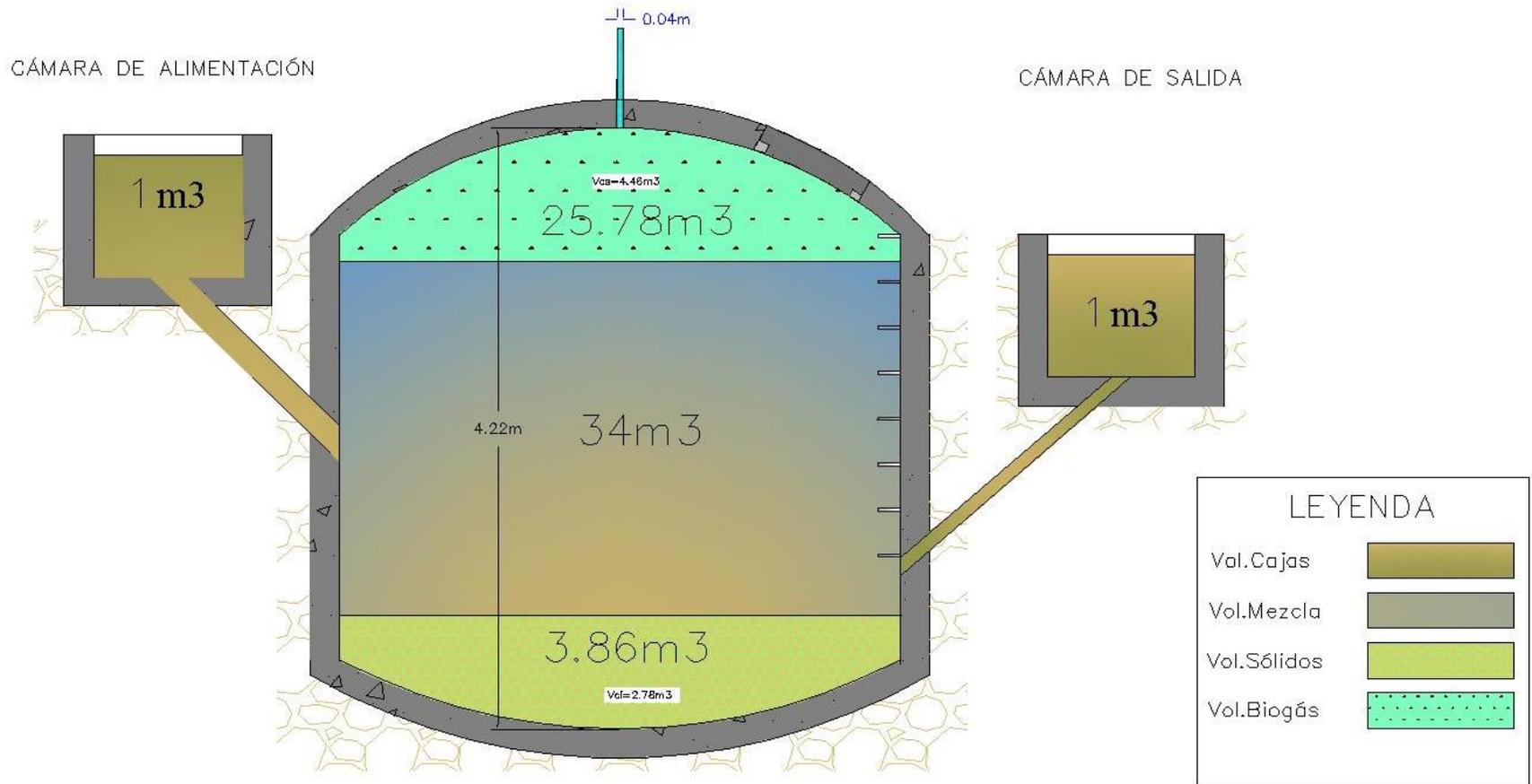
DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GRANJA AVÍCOLA BILBAO		
	Contenido: Corte transversal del Biodigestor	
	Elaborado por: Jaime Inca G.	Escala: 1:1000
Aprobado por: Gerardo León.	Formato: A3	

# BIODIGESTOR TIPO CHINO



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GRANJA AVÍCOLA BILBAO		
	Contenido: Vista Planta del Biodigestor	
	Elaborado por: Jaime Inca G.	Escala: 1:1000
Aprobado por: Gerardo León.	Formato: A3	LÁMINA N° 02

# BIODIGESTOR TIPO CHINO



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GRANJA AVÍCOLA BILBAO



Contenido: Volúmenes del Biodigestor

Elaborada por: Jaime Inca G.

Escala: 1:1000

Aprobado por: Gerardo Leñ.

Formato: A3

LÁMINA N°  
03

CÁMARA DE DIGESTIÓN

