



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO DE UN BIORREACTOR Y CONDUCCIÓN DEL BIOGÁS
GENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, ESTACIÓN
TUNSHI-ESPOCH”**

TESIS DE GRADO

PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

ING. EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR

**EDWIN SEBASTIÁN LARA GUILCAPI
MARÍA BELÉN HIDALGO CHIMBORAZO**

**RIOBAMBA – ECUADOR
2011**

Dedico este trabajo a mis padres Tomás y Ruth quienes con su amor, apoyo, paciencia y colaboración han sabido guiarme hasta culminar mi carrera.

A mis hermanos Paola y Julián por su amor y comprensión y a mis amigas Taty, Zazu, Enmy, Pame, Majos por estar conmigo apoyándome en mis buenos y malos momentos apoyandome.

A un gran hermano Perrito que ha sabido estar conmigo siempre te quiero mucho.

María Belén.

A mis padres Marcia y Antonio, mis hermanos por ser mi guía y mi ejemplo de perseverancia durante mi carrera quienes me apoyaron incesantemente.

A mi gran compañera y amiga, Belén que compartió estos años de estudio a mi lado, siempre te recordare, te quiero mucho mi vida.

Sebastián.

Nuestro sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas por realizarnos como profesionales y ciudadanos de honor.

A los docentes en particular al Dr. Celso Recalde, Dr. Gerardo León, Dra. Magdy Echeverría, e Ing. René Carvajal que dedicaron su tiempo guiándonos con sus conocimientos y apoyaron en el desarrollo de nuestra tesis.

Al proyecto COMUNIDEC, I. CONSEJO PROVINCIAL DE CHIMBORAZO, ESPOCH, CLIMATE AND DEVELOPMENT (CDS), por haber apoyado y dado facilidades tanto económicas y necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

A nuestros profesores y amigos de la carrera de Ing. en Biotecnología Ambiental, que compartieron años inolvidables de esfuerzo y dedicación.

Sebastián y Belén.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“DISEÑO DE UN BIORREACTOR Y CONDUCCIÓN DEL BIOGÁS GENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, ESTACIÓN TUNSHI-ESPOCH”**, de responsabilidad de los Egresados Señor Edwin Sebastián Lara Guilcapi y Srta. María Belén Hidalgo Chimborazo ha sido prolijamente revisada por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz
**DECANA DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS.**

Dr. José Vanegas
**DIRECTOR DE LE ESCUELA
DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Dr. Celso Recalde
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo León
MIEMBRO DE TRIBUNAL

.....
**DIRECTOR DPTO.
DE DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE TESIS ESCRITA

Yo, Edwin Sebastián Lara Guilcapi, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EDWIN SEBASTIÁN LARA GUILCAPI

Yo, María Belén Hidalgo Chimborazo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

MARÍA BELÉN HIDALGO CHIMBORAZO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

GLP	Gas Licuado de Petróleo
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
Kcal	Kilocalorías
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
g	Gramo
mg	Miligramo
Kg.	Kilogramo
mm	Milímetro
mbar	Milibar
mm Hg	Milímetro de mercurio
m	Metro
cm	Centímetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
ft ³	Pie cúbico
L	Litro
mL	Mililitro
psia	Libras por pulgada cuadrada absoluta
KWH	Kilovatio Hora
kW	Kilowatt
W	Watt
KJ	Kilo Joules
ST	Sólidos Totales
SV	Sólidos Volátiles
SS	Sólidos Suspendidos
SD	Sólidos Disueltos
TR	Tiempo de retención
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
ha	Hectárea
FRP	Fibra de vidrio reforzado en plástico
Pv	Productividades volumétricas
pH	Potencial de Hidrógeno
°T	Temperatura
h _o	Hora
ppm	Partes por millón
s	segundo
PVp	Peso vivo promedio de la población animal de diseño.

PVe	Peso vivo equivalente referencia Estación Experimental Tunshi-Epoch.
Te	Tiempo de Estabulación
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UBA	Unidad Bobina Adulta
Ced	Cantidad de excretas diarias
CET	Cantidad de Excretas Totales
EETE	Estación Experimental Tunshi-Epoch
RRNN	Recursos Naturales
CET	Cantidad de Energía Total
CE	Cantidad de Estiércol Requerido
EF	Estiércol Fresco
Pr.	Atm Presión Atmosférica
CD	Carga Diaria
Vt	Volumen Mezcla Total
h	Profundidad
V _b	Volumen del Biorreactor
V	Volumen
H	Altura
H _b	Altura Total del Biorreactor
mm H ₂ O	Milímetros de Agua
V ₁	Volumen del casquete de la cubierta.
V ₂	Volumen del cilindro.
S ₁	Superficie de la parte de la esfera formada por la cubierta.
S ₂	Superficie del cilindro.
R ₁	Radio de la curvatura de la parte de la esfera formada por la cubierta.
R ₂	Radio de la curvatura de la parte de la esfera formada por el fondo.
r	Radio del Biorreactor.
f ₁	Altura del vector de la cubierta.
V _{co}	Volumen de Concreto.
D _w	Diámetro cámara de salida
V _{max}	La carga máxima del líquido
K	La tasa de producción de gas
K _G	Coefficiente de almacenamiento de gas
P	Presión de diseño de gas (kpa)
P _{min}	La presión mínima de gas

SIMBOLOGÍA

CH ₄	Metano
O ₂	Oxígeno gaseoso
CO ₂	Dióxido de carbono
H ₂ O	Agua
H ₂ S	Gas sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno
NH ₃	Amoníaco
NO _x	Óxidos Nítricos
H	Hidrogeno
C	Carbono
N	Nitrógeno
K	Potasio
P	Fósforo
Mg	Magnesio
Ca	Calcio
S	Azúfre
Fe	Hierro
Zn	Zinc
Ø	Diámetro
@	Arroba (correspondencia)
π	Pi (Cociente entre la longitud de la circunferencia y su diámetro)
%	Porcentaje
CH ₃ -COOH	Grupo acético

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ABREVIATURAS	i
SIMBOLOGÍA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	4
Objetivo General:	4
CAPÍTULO I	5
1 PARTE TEÓRICA	5
1.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO	5
1.2 BIOMASA	6
1.3 BIORREACTORES	7
1.3.1 TECNOLOGÍA EMPLEADA EN LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y CLASIFICACIÓN DE LOS BIORREACTORES	8
1.4 REQUISITOS NECESARIOS PARA INICIAR EL PROCESO DE DIGESTIÓN	18
1.4.1 ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA	18
1.5 BIOGÁS	22
1.5.1 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS	22
1.5.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	23
1.5.3 USO DEL BIOGÁS	32
1.6 OPERACIÓN DE UN BIORREACTOR	34
1.6.1 EL ABONO ORGÁNICO DE ORIGEN ANIMAL	35
1.6.2 EL BIÓL	36
1.6.3 BIOSOL	38
1.7 DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS	40
1.7.1 Trampas de Agua y Pendientes de la Tubería	41
1.7.2 Reducción del Contenido de Sulfuro de Hidrógeno	43
CAPÍTULO II	44
2 PARTE EXPERIMENTAL	44
2.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN	44

2.2	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI-ESPOCH	44
2.3	OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PRE Y POST TRATAMIENTO.	45
2.3.1	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	46
2.3.2	DETERMINACIÓN DE CENIZAS.....	46
2.3.3	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	47
2.3.4	DETERMINACIÓN DE SULFUROS	48
2.3.5	DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.....	49
2.3.6	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....	51
2.3.7	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	52
2.3.8	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS	53
2.3.9	DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES.....	54
2.3.10	DETERMINACIÓN DE DQO	55
2.3.11	DETERMINACIÓN DBO ₅	57
2.3.12	DETERMINACIÓN DE N, P, K.	59
2.3.13	DETERMINACIÓN DE AEROBIOS MESÓFILOS.	59
2.3.14	DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES.	60
2.3.15	DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN C/N.	60
2.4	OBTENCIÓN DE BIOGÁS POR UN BIORREACTOR A ESCALA	60
2.4.1	EXPERIMENTACIÓN 1, OBTENCIÓN DE BIOGÁS.....	61
2.4.2	EXPERIMENTACIÓN 2, INFLAMABILIDAD DEL BIOGÁS.....	62
2.5	SELECCIÓN DEL MODELO DEL BIORREACTOR.	63
2.5.1	MATRIZ DE DECISIÓN.....	63
2.6	CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE DOMO FIJO	65
CAPÍTULO III		66
3	RESULTADOS	66
3.1	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL PRE Y POST TRATAMIENTO.	66
3.1.1	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).	66
3.1.2	CENIZAS	68
3.1.3	HUMEDAD.....	69
3.1.4	SULFUROS.....	70
3.1.5	ALCALINIDAD.....	71

3.1.6	SÓLIDOS TOTALES PRE Y POST-TRATAMIENTO.	72
3.1.7	SÓLIDOS SUSPENDIDOS PRE Y POST-TRATAMIENTO.	73
3.1.8	SÓLIDOS VOLÁTILES PRE Y POST-TRATAMIENTO.	74
3.1.9	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.	75
3.1.10	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO PRE Y POST- TRATAMIENTO.	76
3.1.11	NITRÓGENO PRE Y POST-TRATAMIENTO.	77
3.1.12	FÓSFORO PRE Y POST-TRATAMIENTO.	79
3.1.13	POTASIO PRE Y POST TRATAMIENTO.	80
3.1.14	AEROBIOS MESÓFILOS PRE Y POST TRATAMIENTO.	81
3.1.15	COLIFORMES TOTALES PRE Y POST TRATAMIENTO.	82
3.1.16	RELACIÓN C/N PRE Y POST-TRATAMIENTO.	84
3.2	OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y ELECCIÓN DEL BIORREACTOR.	85
3.2.1	OBTENCIÓN DE BIOGÁS BIORREACTOR 1 TIPO BATCH.	85
3.2.2	OBTENCIÓN DE BIOGÁS BIORREACTOR 2 TIPO BATCH.	86
3.2.3	CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL BIORREACTOR 1 DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN.	87
3.2.4	CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL BIORREACTOR 2 DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN.	89
3.2.5	MATRICES PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO DE BIORREACTOR.	90
3.3	CÁLCULO DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	92
3.4	CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA EETE.	99
3.5	DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE DOMO FIJO.	100
CAPÍTULO IV.		113
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	113
4.1	CONCLUSIONES.	113
CAPÍTULO V.		116
RESUMEN.		118
SUMMARY.		119
CAPITULO VI.		117
BIBLIOGRAFÍA.		118
ANEXOS.		124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Geográfica EETE.....	6
Figura 2: Estiércol Bovino Tunshi-Espoch	7
Figura 3: Modelos de Biorreactores más Difundidos.....	14
Figura 4: Diseños de Biorreactores de Cúpula Fija Empleados en Diferentes Regiones del Mundo.....	15
Figura 5: Biorreactores de Tercera Generación.....	16
Figura 6: Crecimiento Bacteriano dentro del Biorreactor.	30
Figura 7: Artefactos que utilizan Biogás.	33
Figura 8: Obtención del Biól	38
Figura 9: Instalación de una Trampa de Agua a la Cocina.....	42
Figura 10: Montaje de una Trampa de Ácido Sulhídrico.....	43
Figura 11: Comparación del pH. Pre y Post Tratamiento	67
Figura 12: Determinación del % de Cenizas en el Estiércol	68
Figura 13: Determinación del % de Humedad en el Estiércol	69
Figura 14: Determinación de Sulfuros en el Estiércol.....	70
Figura 15: Determinación de la Alcalinidad en el Estiércol.....	71
Figura 16: Porcentajes de Sólidos Totales Pre y Post Tratamiento.....	72
Figura 17: Comparación de los Sólidos Suspendidos Pre y Post-Tratamiento	73
Figura 18: Determinación de los Sólidos Volátiles en el Estiércol	74
Figura 19: Determinación de la D.Q.O en el estiércol.	75
Figura 20: Comparación de la DBO ₅ .Pre y Post-Tratamiento.....	76
Figura 21: Comparación del Nitrógeno Pre y Post Tratamiento	78
Figura 22: Comparación del Fósforo Pre y Post Tratamiento	79
Figura 23: Comparación del Potasio Pre y Post Tratamiento.....	80

Figura 24: Comparación de los Aerobios Mesófilos Pre y Post Tratamiento	82
Figura 25: Comparación de los Coliformes Totales Pre y Post-Tratamiento.....	83
Figura 26: Comparación de Relación C/N Pre y Post Tratamiento.....	84
Figura 27: Volumen de Biogás por el Tiempo de Retención Biorreactor 1	86
Figura 28: Volúmenes de Biogás por el Tiempo de Retención Biorreactor 2.....	87
Figura 29: TEMPERATURA B1 vs TR.....	88
Figura 30: TEMPERATURA B2 VS TR	89
Figura 31: Diseño del Tanque Biorreactor	103
Figura 32: Diseño cámara de entrada y salida.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones Meteorológicas Estación Tunshi- Espoch	5
Tabla 2: Tipos de Biorreactores.....	9
Tabla 3: Características de la Fase Acidogénica y Metanogénica.....	21
Tabla 4: Composición de Biogás.....	22
Tabla 5: Producción de Biogás de varios tipos de estiércol	25
Tabla 6: Rango de Temperaturas de Algunas Bacterias.....	25
Tabla 7: Tiempos de Retención en Distintos Tipos de Estiércol.....	28
Tabla 8. Valores Relación C/N de Algunos Tipos de Materiales Orgánicos.	30
Tabla 9: Principales Artefactos que Utilizan Biogás.....	34
Tabla 10: Composición Bioquímica del Biól Proveniente de Estiércol (BE) y de Estiércol + Alfalfa (BEA).....	36
Tabla 11: Relación: Materia Prima (Estiércol: Agua).....	37
Tabla 12: Características del Biosol Post Fermentación Estiércol Vacuno.....	39
Tabla 13: Composición de Nutrientes del Estiércol de Vaca y otras Especies	39
Tabla 14: Contenido de N, P y K en los Abonos Orgánicos	40
Tabla 15: Pérdidas de Presión en mm de Columna de Agua, PVC.....	41
Tabla 16. Datos Básicos de Diseño –Biogás de Estiércol de Ganado Vacuno	101

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Datos de los Ejemplares Bovinos Escogidos.....	66
Cuadro 2: Determinación de pH.....	67
Cuadro 3: Determinación de Cenizas.....	68
Cuadro 4: Determinación de Humedad.....	69
Cuadro5: Determinación de Sulfuros.....	70
Cuadro 6: Determinación de Alcalinidad.....	71
Cuadro 7: Determinación de S.T.....	72
Cuadro 8: Determinación de S.S	73
Cuadro 9: Determinación de S.V.....	74
Cuadro 10: Determinación D.Q.O.....	75
Cuadro 11: Determinación DBO ₅	76
Cuadro 12: Determinación de Nitrógeno.....	77
Cuadro 13: Determinación de Fósforo.	79
Cuadro 14: Determinación de Potasio	80
Cuadro 15: Determinación de Aerobios Mesófilos	81
Cuadro 16: Determinación de Coliformes Totales	83
Cuadro 17: Relación C/N	84
Cuadro 18: Datos de Producción de Biogás B1	86
Cuadro 19: Datos de Producción de Biogás B2	87
Cuadro 20: Datos de Temperatura Diarios B1	88
Cuadro 21: Datos de Temperatura Diarios B2	89
Cuadro 22: Matriz de Preselección Diseño Modelo de Campana Flotante o Hindú.....	90
Cuadro 23: Matriz de Preselección Diseño Modelo de Domo Fijo o Chino.....	91

Cuadro 24: Matriz de Preselección de Diseño Modelo Biorreactor de Bolsa.....	91
Cuadro 25: Matriz de Preselección de Diseño Modelo de Flujo Inducido.....	92
Cuadro 26: Vacas Utilizadas en la Medición de la Cantidad de Estiércol Diario.....	93
Cuadro 27: Determinación de la Cantidad Excretas Diarias por UBA.	94
Cuadro 28: Tiempo de Estabulación UBAs en la EETE.....	94
Cuadro29: Determinación del Peso Medio de las Vacas en Producción EETE.....	95
Cuadro 30: Determinación del Peso Medio de las Vacas Secas EETE.....	96
Cuadro 31: Determinación del Peso Medio de las Vaconas Vientre EETE.....	96
Cuadro 32: Determinación Aporte Orgánico de la Población Bobina EETE.....	97
Cuadro 33: Resumen de los Parámetros Físicos del Biorreactor.....	
Cuadro 34: Análisis de Precios para la Construcción del Biorreactor.	112

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ESTABLO ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI-ESPOCH.	124
ANEXO 2: ESTABLO CON LAS CINCO VACAS SELECCIONADAS PARA EL EXPERIMENTO.	124
ANEXO 3: DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL, MATERIALES Y EQUIPOS.	125
ANEXO 4: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS. (ESTIÉRCOL)	126
ANEXO 5: RESULTADOS N, P, K. ESTIERCOL PRE-TRATAMIENTO	127
ANEXO 6: RESULTADOS N, P, K. ESTIERCOL POST-TRATAMIENTO	128
ANEXO 7: RESULTADOS AEROBIOS MESOFILOS ESTIERCOL PRE- TRATAMIENTO	129
ANEXO 8: RESULTADOS AEROBIOS MESOFILOS ESTIÉRCOL POST- TRATAMIENTO	130
ANEXO 9: RESULTADOS COLIFORMES TOTALES ESTIÉRCOL PRE- TRATAMIENTO	131
ANEXO 10: RESULTADOS COLIFORMES TOTALES ESTIÉRCOL POST- TRATAMIENTO	133
ANEXO 11: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL BIORREACTOR TIPO BATCH	134
ANEXO 12: MATERIALES DEL BIORREACTORES TIPO BATCH.....	136
ANEXO 13: MEZCLA ESTIÉRCOL Y AGUA, RELACIÓN 1:1.	137
ANEXO 14: BIORREACTOR TAPADO HERMETICAMENTE	138
ANEXO 15: TERMOSTATO Y SISTEMA DE BIORREACTORES ANAEROBIOS Y DISPOSITIVO DE AGITACIÓN MECANICA.....	139

ANEXO 16: SISTEMA COMPLETO DEL PROCESO ANAERÓBICO, BIORREACTORES, TERMOSTATO, Y PROBETA RECOLECTORA DE BIOGÁS.	140
ANEXO 17: ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS FUNDAS TEDLAR.....	141
ANEXO 18: PONDERACIÓN DE LOS FACTORES A EVALUAR Y OPERACIÓN DE LA MATRIZ.....	142
ANEXO 19: PRUEBA DE INFLAMABILIDAD DEL BIOGÁS.....	143
ANEXO 20: REPORTES DIARIOS DE BIOGÁS BIORREACTOR 1.	144
ANEXO 21: REPORTES DIARIOS DE BIOGÁS BIORREACTOR 2.	145
ANEXO 22: REPORTES DIARIOS DE TEMPERATURA INTERNA DEL BIORREACTOR 1.....	146
ANEXO 23: REPORTES DIARIOS DE TEMPERATURA INTERNA DEL BIORREACTOR 2.....	147
ANEXO 24: PLAN DE CONSTRUCCIÓN DEL BIORREACTOR.....	148
ANEXO 25: PRECAUCIONES EN LA CONSTRUCCIÓN.....	148
ANEXO 26: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS ESTIÉRCOL PRE TRATAMIENTO MUESTRAS BIORREACTOR 1 Y 2.....	158
ANEXO 27: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS ESTIÉRCOL POST TRATAMIENTO BIORREACTOR 1.....	159
ANEXO 28: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS ESTIÉRCOL POST TRATAMIENTO BIORREACTOR 2.....	160
ANEXO 29: PLANOS BIORREACTOR DE DOMO FIJO.....	161

INTRODUCCIÓN

La tecnología de los biorreactores para el procesamiento del estiércol de ganado vacuno y su posterior fermentación para obtener biogás y bioabono puede contribuir sustancialmente a la conservación del ambiente y al desarrollo de sectores que se encuentran con una sobresaturación de materia orgánica principalmente sobre el suelo y agua.

En nuestro país esta técnica se ha desarrollado levemente, ya que no es muy conocida y tampoco existe el interés de implementarlo en las grandes haciendas que producen carne y leche a gran escala. Son escasos los estudios que se han realizado en la utilización de esta técnica comprobada y eficiente si es que tiene un manejo adecuado del sistema.

Nuestra tesis se encuentra enfocada en el diseño de un biorreactor el cual permitirá el tratamiento de los desechos orgánicos provenientes del ganado vacuno, mediante la utilización de una matriz de decisión eligiendo al modelo chino o de domo fijo, los análisis físico-químicos, microbiológicos y la producción de biogás a nivel de laboratorio permitieron elegir a este biorreactor como el que mejor se adapta a las necesidades de la planta, mediante formulas y ecuaciones geométricas se determinaron los parámetros de diseño del mismo, para su posterior construcción.

El proyecto del diseño del biorreactor se encuentra asistido por el convenio ESPOCH, Consejo Provincial y Cimate and Develoment. Comunidec, H.Consejo Provincial de Chimborazo, Climate and Development (CDS).

JUSTIFICACIÓN

Debido a las diversas acciones que se ejecutan en el sector agropecuario de nuestro país, se ha evidenciado una excesiva contaminación del suelo y agua, especialmente en lo que tiene que ver a desechos orgánicos, los cuales se han constituido mayoritariamente en un factor de riesgo para los diferentes recursos naturales que se relacionan directamente con estas actividades, ya que al no contar con una estructura adecuada para la concentración y manejo de estos residuos, dichos recursos se ven directamente afectados, y por ende los seres humanos que habitan cerca a estos espacios. Es por esto que se considerada una alternativa viable la apertura de nuevas estrategias acerca del manejo sostenible de la producción agropecuaria y los desechos generados por la misma, las cuales deben estar ligadas a la preservación del ambiente.

Es de allí que nace la idea de conformar nuevas alternativas del manejo ambiental principalmente de los residuos que generan la ejecución de actividades ganaderas, apoyando de esta manera al desarrollo de la Estación Experimental Tunshi de nuestra institución, creando una alternativa para producir una forma de energía renovable que mucha falta le hace a nuestra provincia y país.

Esto se llevara a cabo mediante el diseño de un Biorreactor para tratar el manejo de los residuos orgánicos que genera el ganado vacuno de la estación Experimental Tunshi-Espoch, dada la dispersión del ganado en el campo, que se traducen en mayores índices de contaminación ambiental principalmente del agua, suelo y aire, siendo necesario la adecuación de un sistema de tratamiento de residuos orgánicos que sean vigentes en el sector, para mitigar el riesgo e impacto que se genera debido a las excretas generadas por el ganado vacuno.

En sí, el diseño de un biorreactor para la Estación Experimental Tunshi, y con su futura construcción a más de tratar los residuos orgánicos (estiércol), obtendrá biogás y abono orgánico lo cual permitirá atender las necesidades de la misma y de la comunidad aledaña al sector, incrementado las actividades productivas, sin contaminar los recursos naturales y procurando mantener un equilibrio ecológico que permita acceder a un entorno más saludable, protegiendo de este modo de la vulnerabilidad extrema de la cual son víctimas debido a los altos índices de contaminación.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Diseñar un biorreactor para la posterior obtención y conducción de biogás, como energía renovable, a partir de estiércol de ganado vacuno.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar la calidad de la excretas del ganado vacuno pre y post proceso de fermentación, mediante el análisis físico-químico y microbiológico a nivel de laboratorio.
2. Determinar la cantidad de biogás que se va a generar en el biorreactor a escala tipo Batch, y mediante los datos obtenidos determinar los parámetros de diseño.
3. Calcular el diseño estructural del biorreactor seleccionado y la línea de conducción de biogás que podría generarse y esquematizar los planos para su posterior construcción.

CAPÍTULO I

1 PARTE TEÓRICA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

El lugar en donde será aplicado el proyecto de tesis está situado en la unidad de producción de bovinos de la Facultad de Ciencias Pecuarias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Estación Experimental Tunshi, la misma que se encuentra ubicada a 12 Km. de la ciudad de Riobamba, localizada en las coordenadas 20° 13' de latitud sur y 78° 53' longitud oeste y a una altura de 2347 m.s.n.m.

Tabla 1: Condiciones Meteorológicas Estación Tunshi- Epoch

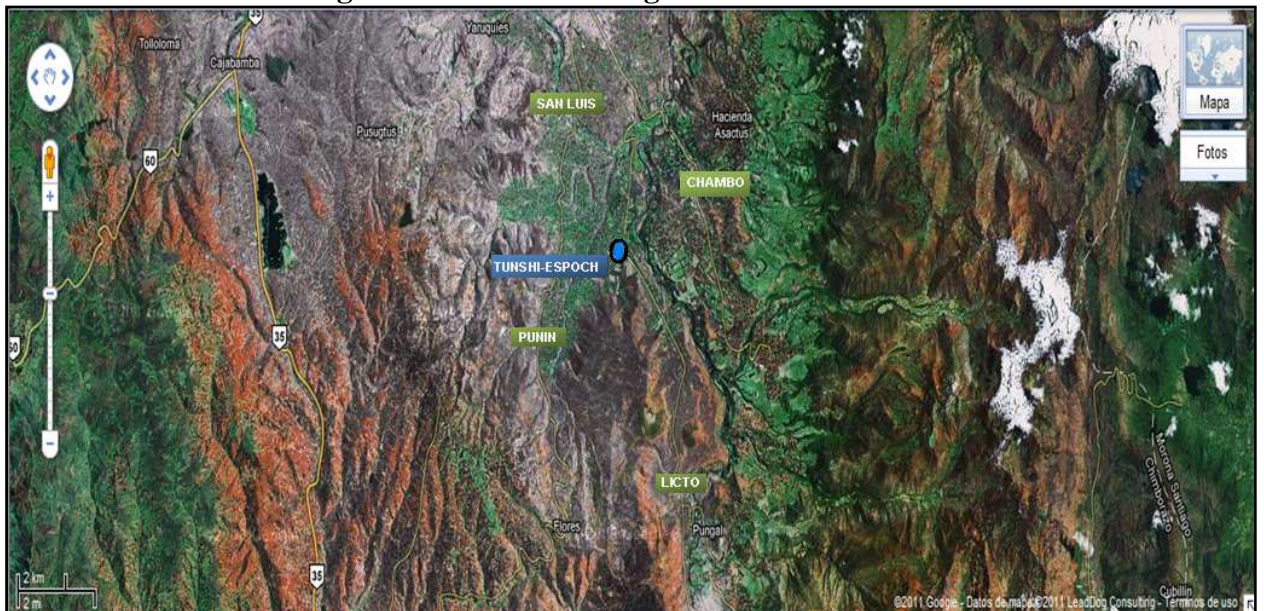
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Temperatura	°Celsius	8-16
Humedad	%	70
Precipitación	Mm	513.5
Presión	mm H _g	556.8

FUENTE: Estación meteorológica ESPOCH 2011, Facultad de Recursos Naturales

Dicha Estación tiene un consumo promedio mensual de 6 tanques de 15 Kg de GLP de los cuales 4 tanques están destinados al lavado de equipos dentro de la planta de lácteos, mientras que los 2 tanques restantes se los utiliza en la cocina de los pasantes. Posee también un consumo medio mensual de 194,83 Kwh. de energía eléctrica, distribuida tanto para la planta de lácteos como para el área administrativa.

En la actualidad el suministro del servicio eléctrico está regulado por la EERSA y del GLP por compra directa en diversos lugares de distribución, para la EETE. Existe una evidente mala disposición de los desechos orgánicos del ganado los cuales han deteriorado el ambiente en la estación y en sus alrededores, generando mal olor, presencia de moscas y una gran contaminación en las acequias aledañas causada por una excesiva carga de materia orgánica del ganado arrastrados por la lluvias y la limpieza del establo (1).

Figura 1: Ubicación Geográfica EETE



FUENTE: GOOGLE MAPS JUNIO2011

1.2 BIOMASA

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado 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 animal (2).

Los subproductos derivados de determinadas actividades ganaderas, agrícolas, forestales, industriales, domésticas, etc., que suelen denominarse biomasa residual. Los residuos ganaderos (figura 2) constituyen una parte de la denominada biomasa animal.

Figura 2: Estiércol Bovino Tunshi-Epoch



FUENTE: AUTORES

Este tipo de residuos está formado por determinados subproductos generados por animales vivos (por ejemplo, estiércoles), o muertos (por ejemplo, huesos, pellejos, etc.), que son biodegradables y pueden descomponerse utilizando mecanismos apropiados para generar biogás (3).

1.3 BIORREACTORES

Un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaeróbico, estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mm hasta m^3 y son usualmente fabricados en acero inoxidable (4).

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de presión hidrostática y pos tratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. Hay muchos tipos de plantas de biogás pero los más comunes son el domo flotante y el domo fijo. La baja aceptación de muchos de estos biorreactores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos (5).

1.3.1 TECNOLOGÍA EMPLEADA EN LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y CLASIFICACIÓN DE LOS BIORREACTORES.

El hombre, de acuerdo a la aplicación del gas, las características del material a ser digerido, las exigencias en cuanto a niveles de descontaminación a lograr y la relación costo-inversión-beneficio, a diseñado y probado a lo largo del desarrollo de esta tecnología diversos tipos de digestores.

A fin de simplificar el análisis y comprensión de los distintos tipos de digestores en utilización se agruparan los mismos en la tabla 2 desde los más sencillos hasta la última generación de reactores de alta eficiencia, complejidad y costo; clasificando los mismos de acuerdo a diferentes criterios. Luego se comentará cada proceso con un esquema ilustrativo (6).

Tabla 2: Tipos de Biorreactores

1.- CARGA	a) Sistema Batch b) Sistema Continuo o semicontinuo
2.- INTENSIDAD DE LA MEZCLA	a) Mezcla completa b) Mezcla parcial o mala
3.- MANEJO DEL SUBSTRATO	a) Contacto Anaerobio b)U.A.S.B:(Upflow Anaerobic Sludge Blunket c) Lecho fluidizado d) Filtro anaeróbico
4.- MANEJO BIOQUÍMICO	a) Una etapa b) dos etapas

FUENTE: MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS I.N.T.A

1.3.1.1 Modelos de Biorreactores más Difundidos

Más del 80 % de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el tipo Chino e Hindú.

- **Biorreactor del Domo Flotante (India)**

Este biorreactor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible normalmente varía entre 4 a 8 cm. de columna de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada (7).

Características:

Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que 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.

El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20 cm de columna de agua. Por lo general el volumen del gasómetro es del orden de 1/3 del biogás generado al día.

Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biorreactores. En este biorreactor se alcanzan probabilidades volumétricas (P_v) de 0.5 a 1m^3 de biogás/volumen de reactor por día.

Ventajas:

- ✓ Fácil operación.
- ✓ Presión constante.
- ✓ No permite la formación de costras y espuma.
- ✓ Operación eficiente.

Desventajas:

- ✓ Necesita de mantenimiento dos veces por año para limpieza de aislantes del gasómetro.
- ✓ Los gasómetros de acero muchas veces pueden ser atacados por la corrosión u oxidación si estos no están protegidos correctamente (8).

- **Biorreactor de domo fijo (China)**

Consiste en una firme cámara de gas construida de ladrillos, piedra u hormigón. La tapa y la base son semiesferas y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas para hacerlo firme. Hay un tapón de inspección en la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo con presiones entre 1m y 1.5m de columna de H₂O.

Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la forma semiesférica. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construirlo. Más de cinco millones de biorreactores se han construido en China y están funcionando correctamente pero, la tecnología no ha sido popular fuera de China (9).

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegándose a alcanzar presiones internas de hasta más de 100 cm de columna de H₂O.

Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más.

Ventajas:

- ✓ Una elevada vida de utilización (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.
- ✓ Usos multifacéticos: depósito y producción de biogás, producción de bioabono y desinfección.
- ✓ Construcción subterránea, empleo de poca tierra y poca influencia climática. Razonable distribución de la fuerza en la estructura.
- ✓ Materiales usados en la construcción son fáciles de conseguir.
- ✓ Facilidad de construcción por su estructura simple.
- ✓ Técnicas de preparación y administración simples.
- ✓ Bajo costo de construcción.

Desventajas:

- ✓ Requiere de materiales de alta calidad.
- ✓ Mayores recursos humanos (10).

• Biorreactor de Bolsa Elástica Tipo Balón

Está formado por un tanque hermético donde ocurre la fermentación y un depósito que sirve para el almacenaje de gas.

En el caso del biorreactor de polietileno, el tanque de digestión y de recolección de gas, conforman uno sólo. El proceso de digestión ocurre en la parte inferior del recipiente, y en la parte superior se colecta el gas.

Posee una tubería de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua, y una tubería de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biorreactor (11).

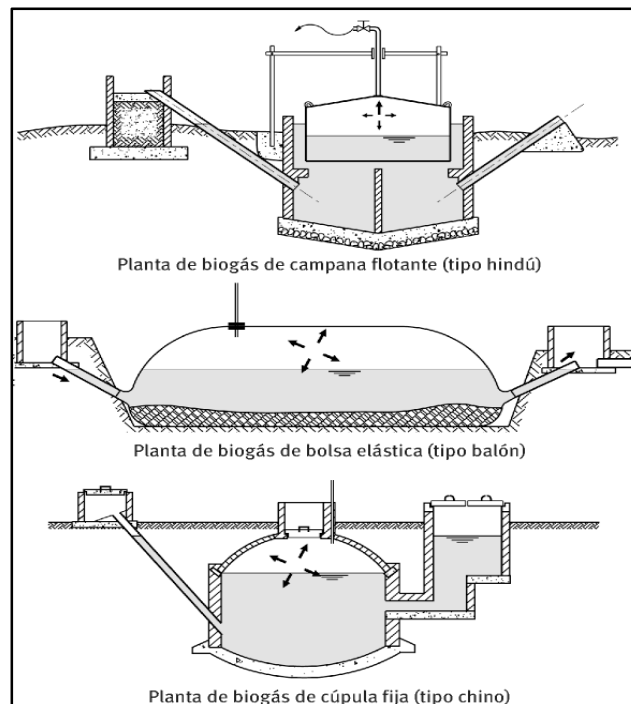
Ventajas:

- ✓ Reducción de trabajo físico.
- ✓ Producción de energía barata.
- ✓ Reducción de la polución.
- ✓ Bajo costo de inversión y construcción.
- ✓ Facilidad de instalación.
- ✓ Ocupa menos espacio físico en su instalación.

Desventajas:

- ✓ Bajo tiempo de vida útil.
- ✓ Es necesario montar una nueva instalación cada tres años.
- ✓ También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.
- ✓ Baja presión de gas (12).

Figura 3: Modelos de Biorreactores más Difundidos

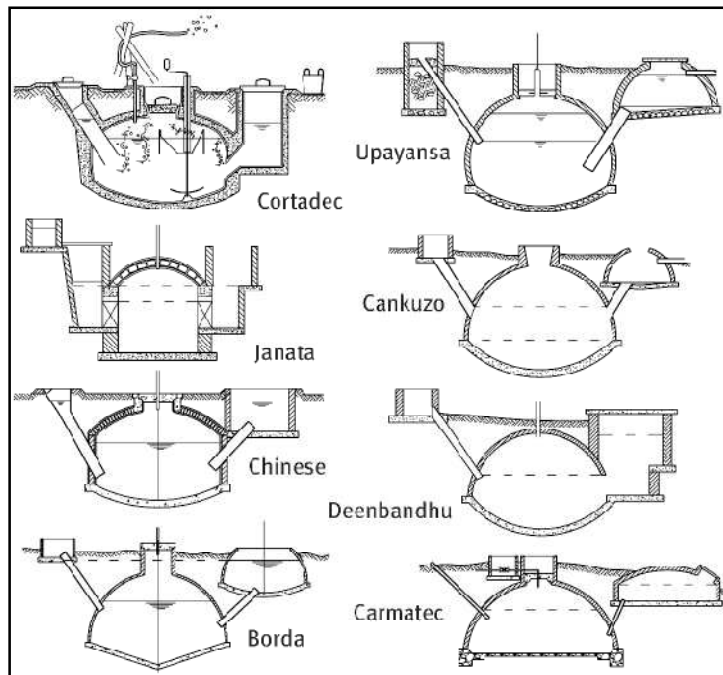


FUENTE: Diseño y Construcción de Plantas de Biogás. José Guardado

La Figura 3 muestra tres modelos de digestores anaeróbicos sencillos, tal como son los modelos Hindú, Chino y bolsa. En los países industrializados se han perfeccionado muchos detalles de la tecnología de digestión anaeróbica durante los últimos años, obteniendo de esta manera digestores más eficientes, pero también muy costosos.

Las modificaciones se relacionan en primer lugar con la homogenización del material, la optimización del contacto entre sustrato y microorganismos y el mantenimiento de una temperatura constante. Digestores anaeróbicos no se utilizan solamente para estiércol, sino también para la depuración de aguas servidas a nivel municipal e industrial, e incluso para desechos municipales sólidos (Mata-Álvarez et al., 2000) (13).

Figura 4: Diseños de Biorreactores de Cúpula Fija Empleados en Diferentes Regiones del Mundo.



FUENTE: Diseño y Construcción de Plantas de Biogás José Guardado

La evolución de los biorreactores de cúpula fija (Fig. 4), ha permitido introducir otras ventajas:

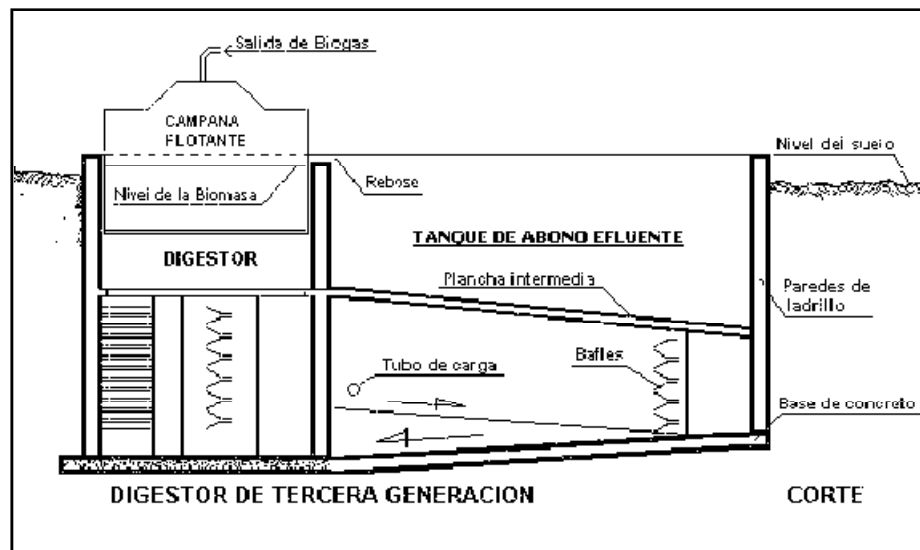
- ✓ Posibilidad de hacer extracciones del lodo digerido, sistemáticamente, sin alterar su funcionamiento.
- ✓ Mejor aprovechamiento de la excavación.
- ✓ Mejor acceso al biorreactor, tanto durante la obra como para futuros trabajos de revisión.
- ✓ Simplificación del método de construcción, lo que permite disminuir el tiempo de ejecución (de 10 a 15 días).
- ✓ Su desventaja principal radica en la necesidad de personal calificado para su construcción, y de una inspección periódica y monitoreo por parte de técnicos especializados (14).

- **Biorreactores de Alta Velocidad o Flujo Inducido Tercera Generación**

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semiindustriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como digestores tipo Hindú modificado. Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Figura 5: Biorreactores de Tercera Generación



FUENTE: Manual de Textos Científicos.

Ventajas:

- ✓ Menor tiempo de operación.
- ✓ Evita la formación de una costra de material dentro del digestor.
- ✓ Logra la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema.
- ✓ Ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión.
- ✓ Mantiene una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes.
- ✓ Inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño.
- ✓ Permite una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor.
- ✓ Mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor

Desventajas:

- ✓ Cuando al digestor convencional de tipo continuo se introducen indiscriminadamente materiales orgánicos de origen vegetal como pasto u hojas de árbol, sobrantes de cosechas o basuras biodegradables, que tienden a flotar en el agua por su alto contenido celulósico, terminan por atascarlo y parar su operación efectiva en poco tiempo, incluso días, dependiendo de la cantidad de material suministrado.

- ✓ Grandes costos de inversión.
- ✓ Mayor cantidad de requerimientos tecnológicos.
- ✓ Dificultad en el diseño estructural (15).

1.4 REQUISITOS NECESARIOS PARA INICIAR EL PROCESO DE DIGESTIÓN.

Las bacterias productoras del biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico. Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años. Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 (16).

1.4.1 ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Comúnmente la digestión anaeróbica de material orgánico se divide en cuatro etapas, aunque en realidad éstas ocurren simultáneamente dentro del digestor (17).

1.4.1.1 Fase de Hidrólisis

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando H y CO₂. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo número de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos (18).

La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos. Incluso en casos donde las fases acidogénica o metanogénica son consideradas como pasos limitantes, la hidrólisis puede afectar el conjunto del proceso.

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso dependen de muchos factores, entre otros del pH, de la temperatura, de la concentración de biomasa, del tipo de materia orgánica particulada y del tamaño de partícula.

La sostenibilidad de esta etapa se basa en que la presencia de microorganismos anaeróbicos que consumen el oxígeno disuelto en el agua, bajan el potencial redox, lo que es la base para la proliferación de más microorganismos anaeróbicos (19).

1.4.1.2 Fase de Acidificación

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético CH₃-COOH y liberando como productos H y CO₂.

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético (20).

1.4.1.3 Fase Acetogénica

Los productos de la fase acidogénica sirven de sustrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa son endoenergéticas (se necesita energía para la degradación de los productos de la acidogénesis).

Las bacterias de esta etapa producen necesariamente H_2 y están en simbiosis constante con los organismos que producen metano. Los organismos metanogénicos pueden sobrevivir solo a altos niveles de presión parcial de H_2 , si este nivel baja, el H_2 , CO_2 y acetato son producidos por bacterias acetogénicas en el caso contrario predomina la formación de ácido propiónico, butírico, valérico y etanol (entre otros) (21).

1.4.1.4 Fase Metanogénica

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre (22).

La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal sustrato el ácido acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el CH₄ y el CO₂.

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor. Estas características han sido resumidas en la tabla 3 para su mejor comprensión.

Tabla 3: Características de la Fase Acidogénica y Metanogénica.

Fase acidogénica	Fase metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno).	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno).
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva).	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, metano y dióxido de carbono

FUENTE: Textos Científicos.

Como vemos el proceso ha sido simplificado aún más reduciendo el mismo a dos fases principales la ácida generadora de productos intermedios y la metanogénica. Del cuadro anterior se desprende que una alteración en los parámetros de funcionamiento incidirá negativamente sobre la fase metanogénica preponderantemente, lo cual significará una merma importante en la producción de gas y una acidificación del contenido pudiéndose llegar al bloqueo total de la fermentación.

Cuando la metanogénesis funciona, la etapa acetogénica también funciona sin problemas, en el caso contrario comienza una sobre-acidificación (23).

1.5 BIOGÁS

1.5.1 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

El biogás producido durante la digestión, contiene además de CH₄ también CO₂ y otros gases (Tabla 4). La eficiencia energética del biogás es 3,5 veces más alta que la de leña, y similar al gas comercial. Cuanto más alto el contenido de CH₄, mejor será la calidad del biogás como combustible (24).

Tabla 4: Composición de Biogás

Gas	% del total
Metano (CH ₄)	50-70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30-40
Hidrógeno (H ₂)	1-10
Nitrógeno (N ₂), Amoniac (NH ₃), Óxidos nítricos (NO _x)	1-6
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S), otros	Trazas

FUENTE: Adaptado de Singh y Balasubramanian (2009).

1.5.1.1 Metano

El metano se produce de forma natural por la descomposición de sustancias orgánicas en ambientes pobres en oxígeno. También se produce en el sistema digestivo de rumiantes y otros animales, en la explotación de combustibles fósiles, y en la quema de biomasa. Aproximadamente la mitad de la producción de metano proviene de los sembradíos de arroz, y de la actividad animal.

Una cuarta parte proviene de tierras pantanosas y húmedas. Un 15% de la producción industrial de gas natural y carbón mineral. Los rellenos de basura y otras sustancias orgánicas en descomposición contribuyen con un 5% de las emisiones de metano.

A largo plazo, el metano es mucho más preocupante como agente responsable del calentamiento global, que el dióxido de carbono ya que tiene un potencial de calentamiento global 62 veces mayor que este último.

El metano contribuye actualmente con el 15% del Calentamiento Global, excluido el efecto del vapor de agua. Se calcula que hacia fines del siglo XXI el efecto del metano habrá superado al producido por el CO₂ (25).

1.5.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes:

- ✓ Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- ✓ Temperatura del sustrato; la carga volumétrica
- ✓ Tiempo de retención
- ✓ Nivel de acidez (pH)
- ✓ Relación C/N
- ✓ Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes
- ✓ Grado de mezclado
- ✓ Presencia de compuestos inhibidores del proceso (26).

1.5.2.1 Tipo de Materia Prima

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias, restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de C y N sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio de sales minerales.

En lo referente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor (27).

A modo ilustrativo se expone a continuación la tabla 5 es un indicativo sobre cantidades de Biogás producido por distintos tipos de animales por cada Kg de estiércol.

Tabla 5: Producción de Biogás de varios tipos de estiércol

TIPO DE ESTIÉRCOL	PRODUCCIÓN DE GAS POR Kg. DE ESTIÉRCOL (L)
Ganado Vacuno	22-40
Cerdos	40 - 60
Aves de corral	65,5 - 115
Humano	20 - 28 *

FUENTE: Technology of Biomass Gasification * persona

1.5.2.2 Temperatura del Sustrato

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5°C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.

Tabla 6: Rango de Temperaturas de Algunas Bacterias.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS (°C)	SENSIBILIDAD (°C/h₀)
Psicrofílicas	< 20	± 2
Mesofílicas	20 - 40	± 1
Termofílicas	>40	± 0,5

FUENTE: Manual Biogás INTA.

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor al proceso, la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma.

Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislamiento y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación, esto se refiere al tiempo de retención (TR). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los (TR) y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa (28).

1.5.2.3 Velocidad de Carga Volumétrica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el (TR).

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua (29).

1.5.2.4 Tiempos de Retención

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el TR coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor. En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El TR está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el TR, ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica ver tabla 7.

El límite mínimo de los TR está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor (30).

Tabla 7: Tiempos de Retención en Distintos Tipos de Estiércol.

MATERIA PRIMA	TR (días)
Estiércol vacuno líquido	20 - 30
Estiércol porcino líquido	15 - 25
Estiércol aviar líquido	20 - 40

FUENTE: Technology of Biomass Gasification

1.5.2.5 Valor de Acidez (pH)

Una vez estabilizado el proceso fermentativo, el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Dicho proceso tiene la capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada, las desviaciones de los valores normales es indicativo de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la fase ácida y la metanogénica provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso (31).

Se puede elevar el pH por medio de cal disuelta en agua. Cantidades excesivas de cal, en cambio, elevan la concentración de NH_3 y con eso las pérdidas de N (Gutser et al., 1987). La agitación regular del sustrato en el digestor puede duplicar la producción de biogás, porque se evita la separación de capas de sustrato sólido y líquido. Se puede remover el material a través de la recirculación de una parte del gas, o con un agitador mecánico (24).

1.5.2.6 Contenido de Sólidos

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos. En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12% (32).

1.5.2.7 Relación (C/N)

El desarrollo de los microbios que se encargan de la descomposición de los residuos orgánicos, necesitan de ciertas cantidades de C y N. El carbono lo utilizan como fuente de energía y el nitrógeno en su propia estructura celular. Los materiales que van a servir de alimento para los microorganismos deben tener una relación de carbono/nitrógeno que esté entre 20:1 a 30:1 respectivamente.

En la Tabla 8, se pueden observar la relación carbono/nitrógeno de algunos materiales de origen vegetal como animal, que son muy comunes en el campo y que pueden utilizarse para la obtención de biogás y biol fundamentalmente (33).

Tabla 8. Valores Relación C/N de Algunos Tipos de Materiales Orgánicos.

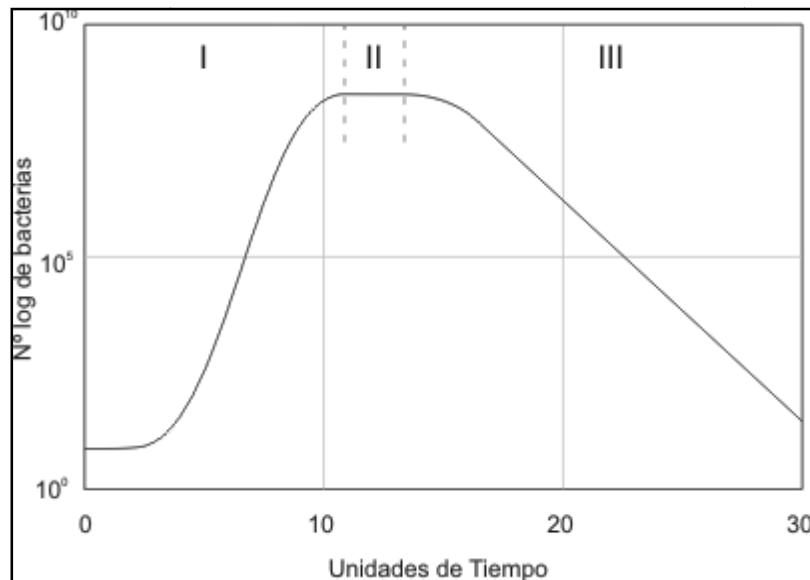
MATERIALES	CARBONO % de peso total	NITRÓGENO % de peso total	RELACIÓN C/N
Estiércol bovino fresco	7.3	0.29	25:1
Estiércol ovino fresco	16	0.55	29:1
Estiércol equino fresco	10	0.42	24:1
Estiércol porcino fresco	7.3	0.60	13:1

FUENTE: Asia Pacific Gasification

1.5.2.8 Inclusión de Inoculantes

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica graficada en la figura 6.

Figura 6: Crecimiento Bacteriano dentro del Biorreactor.



FUENTE: Manual de textos Científicos.

En la figura 6 pueden distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III). La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por Kg de estiércol. Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia (34).

1.5.2.9 Agitación - Mezclado

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una pérdida en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas (35).

1.5.2.10 Inhibidores

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílicas) se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de N y NH₃ destruyen las bacterias metanogénicas (36).

1.5.3 USO DEL BIOGÁS

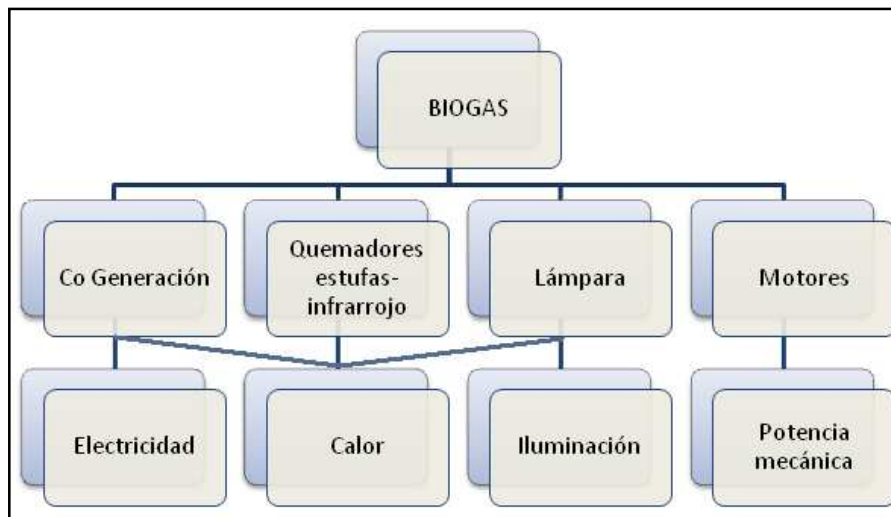
1.5.3.1 Principios de la Combustión

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO₂ y H₂O. El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de CO₂, el biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm/s y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores. La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro.

1.5.3.2 Diferentes Aplicaciones del Biogás

Figura 7: Artefactos que utilizan Biogás.



FUENTE: Manual de textos Científicos.

En la tabla 9 se han listado los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia. Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala (37).

Tabla 9: Principales Artefactos que Utilizan Biogás

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quegador de cocina	300 - 600 L/h _o	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 L/h _o	30 – 50
Heladera de 100 L	-30 - 75 L/h _o	20 – 30
Motor a gas	0,5 m ³ /kWH	25 – 30
Quegador de 10 kW	2 m ³ /h _o	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 L/h _o	95 – 99
Cogenerador	1 kW elect. 0,5 m ³ /KWH 2kW térmica	hasta 90

FUENTE: Technology of Biomass Gasification

1.6 OPERACIÓN DE UN BIORREACTOR

Para iniciar la operación del biorreactor los desechos orgánicos tienen que inocularse con material de una planta en funcionamiento. En caso contrario, la población de microorganismos es demasiado baja, especialmente de aquellos responsables de la producción de CH₄. La relación C/N óptima para la producción de biogás es de 30 a 35 (Mital, 1996).

El rendimiento de biogás a partir de estiércol bovino es significativamente superior cuando es mezclado con bagazo o paja, mientras un material de difícil descomposición, como cáscaras de maní, reduce el rendimiento. Con desechos vegetales frescos se pueden obtener rendimientos de gas similares a los del estiércol.

Cuanto más continua la alimentación del digestor, tanto más eficiente es la producción de biogás. Los datos referentes a la eficiencia de diferentes desechos en la producción de gas varían notablemente. El tamaño de una planta de biogás depende básicamente de dos factores: la cantidad de desechos orgánicos disponibles y el tiempo de permanencia en el digestor.

En un clima más frío, el material tiene que permanecer por más tiempo en el digestor para lograr un buen rendimiento de gas. Eso implica que en la zona andina los digestores tienen que ser relativamente grandes, lo que los hace más costosos. El efluente de plantas de biogás es considerado un abono orgánico de alta calidad.

Las pérdidas de nutrientes durante el proceso de digestión son normalmente mínimas. Debido a la conversión de carbono orgánico en CH_4 y CO_2 , se produce una concentración relativa de nutrientes minerales. Sin embargo, en caso de no existir un mecanismo para la remoción regular del sustrato en el digestor, una buena parte de los nutrientes puede ser retenido en el lodo al fondo del digestor, donde es accesible solamente.

Aunque se pierde poco N durante la digestión anaeróbica, el peligro de pérdida de este elemento durante y después de la aplicación es alto, puesto que el amonio puede volatilizarse fácilmente. Estas pérdidas suelen ser mayores a temperaturas elevadas. La infiltración, o mejor incorporación, inmediata al suelo ayuda a reducir las pérdidas (24).

1.6.1 EL ABONO ORGÁNICO DE ORIGEN ANIMAL

Los abonos orgánicos de origen animal constituyen el enfoque tradicional de las prácticas de fertilización orgánica, constituyendo una de las mejores formas para elevar la actividad biológica de los suelos. Muchas de las sustancias orgánicas más importantes en los abonos, como las enzimas, vitaminas y hormonas no pueden conseguirse fácilmente en otras formas de fertilizantes.

1.6.2 EL BIÓL

El biól es una fuente de fitorreguladores, que se obtienen como producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos. Durante la producción del biogás a partir de la fermentación metanogénica de los desechos orgánicos, en uno de los colectores laterales del digestor aparece un residuo líquido sobrenadante que constituye el biól (denominación aceptada por la Red Latinoamericana de Energías Alternas).

El biól entonces es el afluente líquido que se descarga de un digestor, pero también se lo puede obtener mediante la filtración o decantación del Bioabono, separando entonces la parte líquida de la sólida.

1.6.2.1 Composición del Biól

En la Tabla 10, se puede observar la composición bioquímica del biól obtenido del estiércol de ganado lechero estabulado, que recibe en promedio una ración diaria de 60% de alfalfa, 30% de maíz ensilado y 10% de alimentos concentrados (BE).

Tabla 10: Composición Bioquímica del Biól Proveniente de Estiércol (BE) y de Estiércol + Alfalfa (BEA)

COMPONENTE	U	BE	BEA
Sólidos totales	%	5,6	9,90
Materia orgánica	%	38,0	41,10
Fibra	%	20,0	26,20
Nitrógeno	%	1,6	2,70
Fósforo	%	0,2	0,30
Potasio	%	1,5	2,10

FUENTE: Medina, V.A. y Solari, E.G. 1990

El estiércol en su estado más o menos fresco, contiene en promedio 10% de materia seca o ST; si en tales circunstancias se lleva al digestor en una proporción de 3 Kg de estiércol por 1 L de H₂O, estaremos incorporando 300 g de ST o de sustancia seca.

1.6.2.2 Formación del Biól

Es importante considerar la relación de materia seca y agua, que implica el grado de partículas en la solución. La cantidad de agua debe normalmente situarse alrededor de 90% en peso del contenido total, tanto el exceso como la falta de agua son perjudiciales.

La cantidad de agua varía de acuerdo con la materia prima destinada a la fermentación. En la Tabla 11, se puede observar algunos ejemplos relacionados con la Relación: Materia prima /agua.

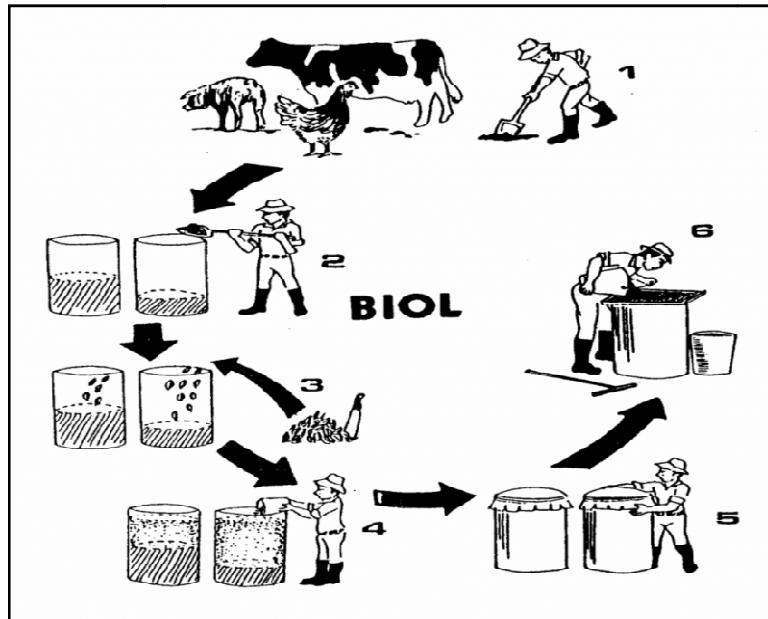
Tabla 11: Relación: Materia Prima (Estiércol: Agua)

Fuente de estiércol	Estiércol	Cantidades utilizadas		
		%	Agua	%
Bovino	1 parte	50	1 parte	50
Porcino	1 parte	25	3 partes	75
Gallinaza	1 parte	25	3 partes	75

FUENTE: SUQUILANDA (1996).

Cuando el bioabono sale del digestor, se pueden observar productos diferenciados por gravedad: nata, líquido sobrenadante (biól) y lodo digerido (biosol). Figura 8.

Figura 8: Obtención del Biól



FUENTE: SUQUILANDA (1996).

El biól, es el principal producto y está constituido casi totalmente de los sólidos disueltos (nutrientes solubles) y agua, aún conserva de 0,5 a 1,5% de SS.

Tratándose de una explotación mediana o grande donde los requerimientos de biól serán mayores, será necesario construir un tanque de cemento con una tapa hermética a la que se adosará un manómetro para medir la presión del biogás y una llave para facilitar su evacuación (33).

1.6.3 BIOSOL

El Biosol es el resultado de separar la parte solida del fango resultante de la fermentación anaeróbica dentro del fermentador o Biorreactor. Dependiendo de la tecnología a emplear, este Biosol tratado puede alcanzar entre 25% a sólo 10% de humedad (de hecho esa humedad principalmente es biol residual).

Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación (en el fermentador). Se puede emplear sólo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos.

Tabla 12: Características del Biosol Post Fermentación Estiércol Vacuno

COMPONENTES	[%]
Agua	15,7
Materia orgánica seca	60,3
pH	7,6
Nitrógeno total	2,7
Fósforo P ₂ O ₅	1,6
Potasio K ₂ O	2,8
Cálcio (CaO)	3,5
Magnesio(MgO)	2,3
Sodio(Na)	0,3
Azufre (S)	0,3
Boro (B) (ppm)	64,0

FUENTE: Aparcana, S. (2005)

Para mejorar la calidad del Biosol, deberá provenir de una mezcla de residuos más rica y variada. Como muestra, se presenta la tabla 13. Dónde se puede encontrar la composición de nutrientes del estiércol de diferentes especies.

Tabla 13: Composición de Nutrientes del Estiércol de Vaca y otras Especies

SUSTANCIAS	H ₂ O (%)	M.O (%)	N (%)	P (%)	K (%)
Estiércol vacuno	47,18	29,0	1,22	0,41	1,16
Estiércol Ovino	41,96	51,5	3,00	0,68	2,08
Gallinaza	10,92	13,0	2,25	5,10	0,90
Cachafé	48,62	43,0	2,30	2,24	0,30
Cachaza	38,46	43,0	2,35	2,82	0,30

FUENTE: MSc. Rolando Saborit.

1.6.3.1 Aplicación general del Biosol

Normalmente se aplica el Biosol en el campo de la misma manera que se emplea el compost, sin embargo la dosificación varía. Las cantidades de Biosol usualmente empleadas se encuentran entre 2 a 4 toneladas/ha (dependiendo del tipo de cultivo y el tipo de suelo).

Con esta dosificación se obtienen los mismos resultados y beneficios que con las cantidades notablemente mayores requeridas para el caso de Compost (10-20 Ton/ha) y guano (15-30 Ton/ha.) las cuales dependen también de las condiciones del suelo y los requerimientos de la planta (38).

Tabla 14: Contenido de N, P y Ca en los Abonos Orgánicos

	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Calcio (%)
Bovino	1,8	0,14	2,5
Caprino	2,0	0,14	2,4
Composta	1,5	0,11	3,5
Gallinaza	2,8	0,90	5,2

FUENTE: Venecia, Durango. 1998.

1.7 DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

El gas producido en el biodigestor debe ser conducido a los lugares de uso a través de tuberías. La tubería de presión de PVC resulta adecuada para esta finalidad, ya que presenta las ventajas siguientes: resistente a la corrosión, facilidad de instalación y menores precios. Su desventaja radica en la necesaria protección contra los rayos solares y el movimiento de animales y transporte pesado.

El diámetro de la tubería requerida depende de la distancia desde la planta hasta el lugar de consumo del gas, así como del flujo máximo de gas requerido y de la pérdida de presión admisible. El flujo máximo del gas se obtiene sumando los consumos de los equipos que funcionen simultáneamente. La tabla 15 permite seleccionar el diámetro de la tubería.

Tabla 15: Pérdidas de Presión en mm de Columna de Agua, por cada 10m de Tuberías PVC

CAUDAL (m ³ /h)	½"	¾"	1"	1 ½"	2"
	17mm	23mm	30mm	43mm	54mm
0,5	1	0,3	0,1		
1	2,5	0,7	0,2		
2	7	1,8	0,6		
2,5	9,9	2,5	0,8		
3	13,1	3,3	1	0,2	
4	20,7	5,2	1,6	0,3	
5	29,6	7,4	2,2	0,4	
6	29,7	9,8	2,9	0,6	
7		12,6	3,7	0,7	
8		15,7	4,6	0,9	0,3
9		19	5,6	1,0	0,4
10		22,6	6,6	1,3	0,5

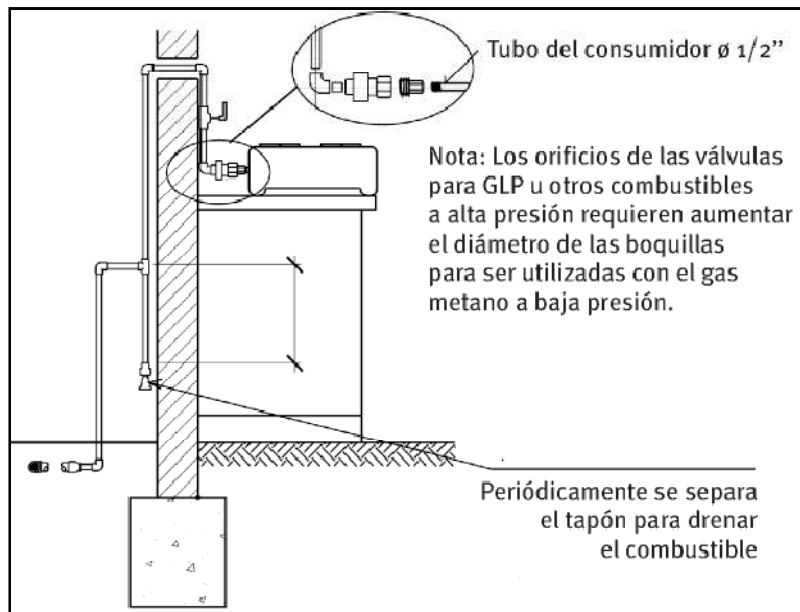
FUENTE: José Guardado (2007).

1.7.1 Trampas de Agua y Pendientes de la Tubería

El gas proveniente de un biodigestor sale generalmente saturado con vapor de agua, parte del cual puede condensarse en la tubería, lo que causa obstrucciones si la tubería no ha sido correctamente instalada.

El agua condensada en las tuberías debe escurrir hacia los puntos bajos donde están localizadas las trampas de agua. De acuerdo con la topografía del terreno y la longitud del trayecto, varía la cantidad de trampas requeridas. Una pendiente de 2 % es suficiente para la instalación. El diámetro mínimo para la conducción deberá ser de ¾ pulgadas, mientras que para las instalaciones dentro de la vivienda es de ½ pulgada.

Figura 9: Instalación de una Trampa de Agua a la Cocina.



FUENTE: José Guardado (2007).

Existen diferentes tipos de trampas de agua, como la de tipo cerrado con una válvula de bola para evacuar el agua condensada (siendo el tipo más usado); mientras que la de tipo abierto, como la trampa en V, debe tener una altura que compense la presión de la planta (Fig. 9). Las trampas de agua deben ser inspeccionadas periódicamente por el usuario.

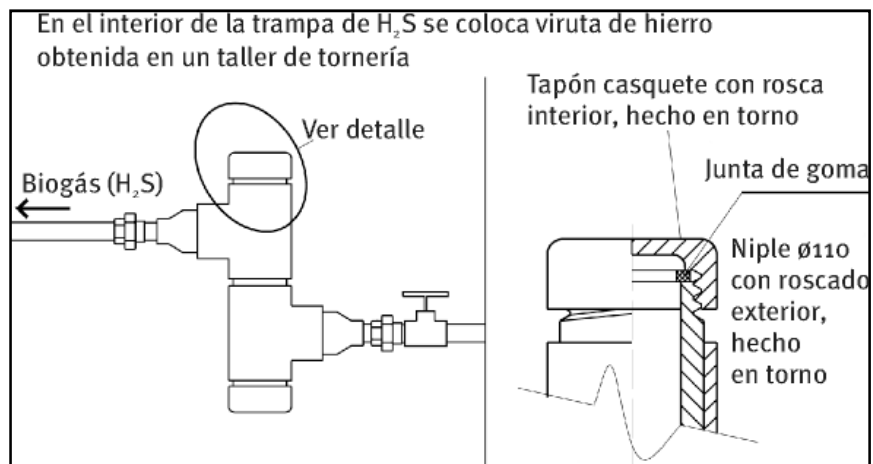
Para las válvulas de cierre se recomienda el uso de las de bola, ya sean metálicas o de PVC, y se debe chequear su hermeticidad contra el escape del gas. Se deberá colocar una válvula a la entrada de cualquier dispositivo para consumo del gas, así como a la salida del biodigestor.

Como regla, en las grandes plantas son colocadas trampas contra incendio para evitar su propagación a través de la tubería. Estas trampas consisten en sellos hidráulicos a través de los cuales pasa el gas en una sola dirección (no permiten su circulación en sentido contrario).

1.7.2 Reducción del Contenido de Sulfuro de Hidrógeno

El H_2S es necesario eliminarlo si su concentración es mayor de 2 %, por las molestias que ocasiona y su alto poder corrosivo. Esta eliminación se realiza por absorción con hidratoférrico $Fe(OH)_3$, el que puede ser regenerado por exposición al aire (Fig. 10).

Figura 10: Montaje de una Trampa de Ácido Sulhídrico



FUENTE: José Guardado (2007).

La reducción del CO_2 es complicada tecnológicamente, para lo cual se emplea el hidrato de cal, y se obtiene como subproducto final del carbonato de calcio. La reducción del CO_2 se hace necesaria en plantas donde se comprima el gas en balones, para uso posterior. (39)

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Tunshi-ESPOCH, en el establo de la Unidad de Producción lechera (ANEXO 1).

2.2 DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI-ESPOCH

Materiales:

- ✓ 2 palas manuales para la recolección de estiércol.
- ✓ 1 balde de 5 litros de volumen, para pesar las muestras de estiércol.
- ✓ Guantes, mandil, mascarilla, botas de caucho (ANEXO 3).

Equipo:

- ✓ 1 balanza de gancho analógica de 100kg.
- ✓ 1 balanza de 50 kg.

Método:

Se utilizaron 5 vacas elegidas aleatoriamente de la estación EETE, con una edad media de 5.8 años las cuales son alimentadas diariamente de pasto, rey grasas, y trébol.

El tiempo promedio de estabulación de las vacas determinamos desde el momento que salen al pastoreo hasta que regresan al ordeño. (ANEXO 2)

La materia prima utilizada fue el estiércol bovino, proveniente del establo construido específicamente para este estudio en la EETE. Dicha materia prima fue recogida en un balde con capacidad de 5 litros con la ayuda de palas, la duración del ensayo fue de 5 días, la medición de las muestras de estiércol se las realizo diariamente mediante la utilización de una balanza de gancho analógica.

El tiempo de estabulación de las vacas permitirá conocer la cantidad de excretas diarias que se generan en la EETE, se pesaron todas las muestras y se sumó la cantidad final de kg. de estiércol diario y se dividió para la 5 vacas que se encuentran en el establo.

2.3 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PRE Y POST TRATAMIENTO.

Para nuestro diseño experimental utilizamos el muestreo sistemático aplicado para la recolección de muestras de estiércol en todo el establo, y posteriormente realizar los análisis en el laboratorio: En este caso se eligió la primera muestra (estiércol) al azar y las siguientes vienen condicionadas por la primera (ANEXO 4).

Técnicas analíticas empleadas

La mayoría de las técnicas analíticas utilizadas en las diversas etapas experimentales del trabajo corresponden a las descritas en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA; AWWA; WPCF; 17 ed).

2.3.1 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

La medición se realizó de forma directa de acuerdo al método normalizado 4500B de la APHA-AWWA-WPFC, por inmersión del electrodo de pH en la muestra convenientemente homogenizada mediante agitación.

Método Potenciométrico:

El pH indica la actividad de los iones H⁺ en moles por litro; es muy importante por su influencia sobre la velocidad de reacción enzimática, utilizando el método colorimétrico con un indicador universal líquido, varillas indicadoras de pH, y si es posible con el pH-metro portátil.

Materiales:

- ✓ pH-metro
- ✓ vaso de precipitación
- ✓ Varilla de agitación

2.3.2 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

Materiales:

- ✓ 3 crisoles o cápsulas de porcelana
- ✓ 1 desecador
- ✓ 1 pinzas largas
- ✓ 1 mufla
- ✓ 1 balanza analítica

- ✓ 1 espátula
- ✓ 1 mechero de Bunsen

Procedimiento:

Dejamos 3 crisoles vacíos en una mufla por el lapso de 15 minutos a una temperatura de 550° a 600°C, una vez transcurrido este tiempo dejamos enfriar el crisol en un desecador durante 15 a 20 minutos, a continuación pesamos el crisol en la balanza analítica teniendo siempre en cuenta la identificación de cada crisol y procedemos a anotar el peso, pesamos en el crisol 2 gramos de la muestra seca y registramos el peso exacto.

Por otra parte incineramos la muestra (estiércol) con ayuda de la mufla durante 2 horas, pesamos el crisol con cenizas (ya no deben estar negras, si lo están incinere otra media hora) en la misma balanza que utilizamos inicialmente y anotamos el peso.

2.3.3 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Método gravimétrico

Las muestras se desecan a 105°C de temperatura, la humedad hidrosfópica químicamente está enlazada con sustancias de la muestra y depende de la composición e higroscopia del mismo. Se determina la humedad higroscópica de las muestras en la estufa por un tiempo de 12 horas.

Materiales:

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Estufa a 105°C
- ✓ Capsulas de aluminio de 5 cm de diámetro
- ✓ Desecador
- ✓ Espátula
- ✓ Pinza

Procedimiento:

Se procede a tarar 3 capsulas colocándolas en la estufa, hasta obtener un peso constante, las llevamos al desecador por 30 minutos y realizamos el primer peso de las capsulas, en cada cápsula se pesa 1 g de muestra (estiércol). A continuación colocamos estas capsulas con la muestra (estiércol) dentro de la estufa a 105°C durante 12 horas. Transcurrido este tiempo llevamos las cápsulas al desecador para enfriarlo por 30 minutos y las pesamos, procedimos de esta manera hasta obtener un peso constante.

2.3.4 DETERMINACIÓN DE SULFUROS**Reactivos:**

- ✓ Ácido clorhídrico HCl 6N
- ✓ Solución patrón de yodo 0.0250N
- ✓ Solución patrón de tiosulfato sódico, 0.0250N
- ✓ Solución de almidón.

Procedimiento:

Añadimos con una bureta a un matraz de 500 ml, una cantidad de solución del yodo estimada como un exceso sobre la cantidad de sulfuro presente: Añadimos agua destilada, para llevar el volumen a unos 20 mL. Añadir 2 mL de HCl 6N. Llevar con la pipeta 200 mL de muestra al matraz, descargando la pipeta bajo la superficie de la solución. Si desaparece el color del yodo, añadir más yodo para mantener el color. Titular por retroceso con solución de tiosulfato sódico, añadiendo unas gotas de solución de almidón al acercarse al punto final, y continuando hasta la desaparición del color azul.

Si se ha precipitado el sulfuro de zinc, filtrando ZnS, devuélvase el filtro y precipitado al frasco original y añadir unos 100 mL de agua. Añadir solución de yodo y HCl y valorar como en el apartado anterior.

2.3.5 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD

Este método es una variación del 2320-B de la APHA-AWWA-WPFC.

Materiales:

- ✓ Matraz aforado de 50 mL
- ✓ Erlenmeyer de 250 mL
- ✓ Bureta y soporte
- ✓ Agua destilada
- ✓ Lentes de seguridad

Reactivos:

- ✓ Solución de carbonato sódico, aproximadamente 0,05N.
- ✓ Ácidos sulfúrico o clorhídrico estándar 0,1N.
- ✓ Ácidos sulfúrico o clorhídrico estándar 0,02N
- ✓ Solución indicadora de verde de bromocresol, indicador de pH 4,5.
- ✓ Solución indicadora de púrpura de metacresol indicador de pH 8,3.
- ✓ Solución alcohólica de fenolftaleína indicada a pH 8,3.
- ✓ Tiosulfato sódico 0,1N

Procedimiento:

Mida 50 mL de muestra en el matraz aforado. Para esto, añada la muestra hasta que falte aproximadamente un centímetro para el aforo (marca de enrase) y complete con un gotero. El enrase se considera bien realizado cuando el menisco que forma el líquido queda tangente, por encima, al aforo

Vierta los 50 mL en el erlenmeyer de 250 mL y agregue agitando unas pocas gotas de reactivo indicador, hasta que note una coloración leve (el color exacto dependerá del pH de la muestra y el color aparente del agua). Titular bajo bureta con solución de ácido sulfúrico, agitando y añadiendo gota a gota hasta el viraje a color púrpura. Determine el volumen de ácido gastado.

La alcalinidad de la muestra se calcula multiplicando por 20 el gasto en mL de la solución de ácido. Esto permite expresar la suma de las bases presentes en la muestra como si fueran solamente carbonato de calcio.

Debe expresarse entonces como alcalinidad total equivalente a “x” mg de CaCO₃ por litro (mg CaCO₃/L) o su equivalente, partes por millón (ppm).

2.3.6 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

Los sólidos totales (ST) se determinaron sobre las muestras brutas de sustrato de cada reactor. La determinación se realizó de acuerdo con el método normalizado 2540B de la APHA-AWWA-WPFC, por gravimetría.

Materiales:

- ✓ Placas de evaporación: placas de 100 ml de capacidad.
- ✓ Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C.
- ✓ Baño de vapor.
- ✓ Desecador, provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.
- ✓ Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C.
- ✓ Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg.

Procedimiento:

Preparación de la placa de evaporación: si se va a medir sólidos volátiles, incinérese una placa de evaporación limpia a 550 ± 50 °C durante una hora en un horno de mufla. Si solamente se intentan medir sólidos totales, caliéntese la placa limpia a 103-105 °C durante una hora. Consérvese la placa en el desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

Análisis de la muestra: elijase un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. Transfírase un volumen medido de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente y evapórese hasta que se seque en un baño de vapor o un horno de secado. En caso necesario, añádanse a la misma placa, después de la evaporación, nuevas porciones de muestra.

Si la evaporación se lleva a cabo en un horno de secado, reducir la temperatura hasta 2°C aproximadamente por debajo del punto de ebullición, a fin de evitar salpicaduras. Secar la muestra evaporada al menos durante una hora en horno a 103-105°C, enfriar la placa en desecador para equilibrar la temperatura y pesar. Repítase el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5mg.

2.3.7 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Materiales:

- ✓ Placas de evaporación: placas de 100 ml de capacidad.
- ✓ Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C.
- ✓ Baño de vapor.
- ✓ Desecador, provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.
- ✓ Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C.
- ✓ Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg.
- ✓ Discos de filtrado de fibra de vidrio
- ✓ Aparato de filtrado.

- ✓ Matraz
- ✓ Horno de secado para operaciones a $180 \pm 2^\circ\text{C}$.

Procedimiento:

Preparación del disco de filtrado de fibra de vidrio: Insértese el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase al vacío y lávese el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continuar la succión hasta eliminar todo vestigio de agua. Deséchese el agua de lavado.

Preparación de la placa de evaporación: si se van a medir sólidos volátiles, incinérese la placa de evaporación limpia a $550 \pm 50^\circ\text{C}$ durante una hora en un horno de mufla. Si únicamente se desea medir sólidos totales disueltos, caliéntese la placa limpia a $180 \pm 2^\circ\text{C}$ durante una hora en un horno de mufla. Si únicamente se desea medir sólidos totales disueltos.

2.3.8 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Los sólidos en suspensión totales (SST) se determinaron sobre el sobrenadante de la centrifugación de las muestras brutas de sustrato de cada reactor. La determinación se realizó de acuerdo con el método normalizado 2540D de la APHA-AWWA-WPFC.

Método Gravimétrico

Se verifica por el método gravimétrico para determinar los sólidos suspendidos en la muestra, son determinados por diferencia de peso, los sólidos suspendidos en la muestra quedan atrapados en el papel filtro con peso constante (tarado).

Materiales:

- ✓ Erlenmeyer
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Estufa
- ✓ Embudo
- ✓ Papel filtro
- ✓ Desecador
- ✓ Pipeta volumétrica

Procedimiento:

Tomar una alícuota de muestra totalmente homogenizada y filtrar en un papel filtro.

Esperar que toda la muestra haya pasado.

Secar el papel filtro en la estufa por el espacio de dos horas.

Sacar y colocar en el desecador

Finalmente pesar el papel que contiene el residuo.

2.3.9 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

Los sólidos volátiles totales (SV) se determinaron, a partir del residuo seco obtenido en la determinación de los sólidos totales (ST) (método normalizado 2540E).

Método gravimétrico

El residuo del desecamiento que corresponde a los sólidos totales se calcina a 550°C hasta la obtención de cenizas blancas.

La diferencia de peso entre sólidos totales y cenizas corresponde al peso de sólidos volátiles.

Materiales:

- ✓ Cisoles de porcelana
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Estufa
- ✓ Mufla
- ✓ Desecador
- ✓ Pinza de crisol

Procedimiento:

La muestra desecada a 105°C y pesada colocar en la mufla durante 4 horas o hasta la obtención de cenizas blancas. Colocar en el desecador por media hora. Pesarse y por diferencia de peso, determinar el porcentaje de sólidos volátiles.

2.3.10 DETERMINACIÓN DE DQO

La determinación de la DQOT se realiza mediante una modificación del método 5220D de la APHA-AWWA-WPFC, para muestras con valores de DQO entre 500 y 3000 mg/L.

Materiales:

- ✓ Vasos de digestión
- ✓ Bloque de calentamiento

- ✓ Horno o calentador de bloque
- ✓ Sellador de la ampolla

Reactivos:

- ✓ Solución de digestión de dicromato de potasio patrón 0,0167M
- ✓ Reactivo ácido-sulfúrico
- ✓ Solución indicadora de ferroina
- ✓ Sulfato de amonio ferroso (SAF) patrón para titulación 0,10M.
- ✓ Ácido sulfámico

Procedimiento:

Lávense los tubos de cultivo y los tapones con H₂SO₄ al 20 por 100 antes de usarlos por primera vez para evitar la contaminación. Colóquese 10 mL de alícuota o muestra en el tubo de cultivo o en la ampolla y añádase la solución de digestión. Viértase con cuidado el ácido sulfúrico en el vaso, de forma que se cree una capa de ácido debajo de la capa de la solución de digestión de la muestra. Apriétese bien el tapón de los tubos o ciérrense bien las ampollas, e inviértase varias veces cada uno de ellos para mezclar completamente.

Colóquense los tubos o las ampollas en un digestor de bloque o en un horno precalentado a 150°C y sométase a reflujo durante 2 horas. Enfríese a temperatura ambiente y colóquense los vasos en la rejilla de tubos de ensayo. Quítense los tapones de los tubos de cultivo y añádase una varilla de agitación magnética cubierta de TFE. Añádase de 0,05 a 0,10 mL (de 1 a 2 gotas) de indicador de ferroina y agítese rápidamente en un agitador magnético mientras se titula con SAF 0,10M.

El punto final es un marcado cambio de color del azul verdoso al marrón rojizo. De la misma forma sométase a reflujo y titúlese un blanco que contenga los reactivos y un volumen de agua destilada igual al de la muestra.

2.3.11 DETERMINACIÓN DBO₅

Materiales:

- ✓ Botellas de winkler capacidad de 250 a 300 ml.
- ✓ Incubador de aire o baño de agua controlado por termostato a $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$

Reactivos:

- ✓ Solución de tampón fosfato
- ✓ Solución de sulfato de magnesio
- ✓ Solución de cloruro de calcio
- ✓ Solución de cloruro férrico
- ✓ Soluciones acida y básica 1N
- ✓ Solución de sulfito sódico
- ✓ Inhibidor de la nitrificación
- ✓ Solución de glucosa-acido glutámico
- ✓ Solución de cloruro de amonio

Procedimiento:

Preparación de agua para dilución Colóquese el volumen deseado de agua en un frasco adecuado y añádase 1mL de las soluciones de tampón fosfato, de MgSO_4 de Ca Cl_2 , y de FeCl_3 de agua.

Antes de usarse el agua de dilución debe ponerse a una temperatura de 20°C. Satúrese con OD agitando en una botella parcialmente llena o aireando con aire filtrado libre de materia orgánica. Alternativamente almacené en frascos taponados con algodón durante el tiempo suficiente para que el agua se sature de OD.

Control del agua de dilución si el agua de dilución no ha sido almacenada para mejorar su calidad, añádase suficiente material de siembra como para producir una captación de OD de 0,05 a 0,1 mg/L en 5 días a 20°C. Incúbese un frasco de ROB lleno de agua de dilución durante 5 días a 20°C. Determínese el OD inicial y final.

Control de glucosa-acido glutámico utilícese una mezcla de 15mg de glucosa/l y 150 mg de acido glutámico/l como solución de control patrón. Determínese el ROB de 5 días a 20°C de una disolución al 2 por 100 de la solución de con trol patrón de glucosa-acido glutámico

Siembra: es necesario tener presente una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra. Siemiente control: determinar el ROB del material de siembra como para cualquier otra muestra.

Dilución: prepare las diluciones en probetas y pase después a frascos ROB o prepare directamente en frascos ROB. Cualquier método de dilución puede combinarse con cualquier técnica de determinación del OD. El número de frascos que se preparen de cada dilución depende de la técnica OD y del numero de duplicados deseados.

Determinación del OD inicial Incúbese a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ los frascos ROB que contengan las diluciones deseadas. Determinación del OD final después de 5 días de incubación

2.3.12 DETERMINACIÓN DE N, P, K.

Método utilizado

Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tal como su nombre lo indica, la determinación de estos parámetros se realizaron siguiendo el método 4500-NorgB (Método macro-kjeldhal) de la APHA-AWWA-WPFC (ANEXO 5-6).

2.3.13 DETERMINACIÓN DE AEROBIOS MESÓFILOS.

Este análisis se realizó en el Laboratorio del Departamento de Fitopatología perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Método y técnica utilizada

El análisis de Aerobios Mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre (ANEXO 7-9).

2.3.14 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES.

Este análisis se realizó en el Laboratorio del Departamento de Fitopatología perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Método utilizado

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2 % de Bilis Verde Brillante y conformación en medio sólido (ANEXO 8-10)

2.3.15 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN C/N.

Este análisis se realizó en el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (5-6).

2.4 OBTENCIÓN DE BIOGÁS POR UN BIORREACTOR A ESCALA (TIPO BATCH).

Para el estudio se readecuó un biorreactor experimental tipo Batch de laboratorio, el que dispone de un sistema de agitación, y un termómetro para medir su temperatura en el interior del mismo, el cual se carga de una sola vez y se descarga cuando a finalizado el proceso.

Tiene una capacidad total de 5 L (denominado volumen útil) sin embargo, por seguridad se deja un espacio sin llenar de sustrato que está entre 1/4 del volumen total lo cual determina que el volumen de trabajo es de 3,4 L. Considerando los modelos propuestos por Jagnow y Wolfgang (1991); Henriquez et al (2006), en el ANEXO 11 se presenta un diagrama esquemático del biorreactor tipo batch.

2.4.1 Experimentación 1, Obtención de Biogás

La materia prima utilizada en el biorreactor es de similares características a la utilizada para los análisis de laboratorio.

Preparación de la carga para el biorreactor: se pesó el estiércol de vaca, utilizándose 1700 gramos en total y se agregó 1.7 litros de agua, teniendo en cuenta en este caso una relación estiércol y agua de 1:1, estos datos fueron tomados desde el día miércoles 11 de Mayo hasta el día 22 de Junio del año 2011.(ANEXO 12-13).

Carga del biorreactor: en seguida se procedió a deshacer la masa de estiércol hasta alcanzar una mezcla homogénea; se tomó lectura del pH y en estas condiciones se cargó el biorreactor, el cual se tapó herméticamente (ANEXO 14).

Monitoreo de la producción de biogás: Se dejó que las bacterias trabajarán en el proceso anaeróbico a una temperatura controlada de 25°C a 35°C por medio de la resistencia eléctrica conectada a un termostato que mide la temperatura del agua del tanque metálico.

La producción de biogás se obtuvo a partir del segundo día de digestión anaerobia, ésta se detectó con el desplazamiento del agua en la probeta y por su olor característico en los primeros cinco días. El proceso de digestión anaerobia se mantuvo por espacio de 35 días, durante los cuales se aplicó agitación manual una vez al día, durante 5 minutos (ANEXO 15).

Una vez terminada la digestión se procedió a realizar los análisis correspondientes al Biól y Biosol generados como resultado de dicho proceso.

2.4.2 Experimentación 2, Prueba de Inflamabilidad del Biogás

Cargamos nuevamente los biorreactores 1 y 2 con la relación estiércol agua 1:1 es decir 1,7 Kg de estiércol y 1,7 L de agua, homogenizamos la muestra y procedimos al proceso de digestión anaeróbica. Procedimos diariamente a la toma de datos de temperatura y cantidad de biogás generado, estos datos fueron tomados desde el día lunes 11 de Julio hasta el día miércoles 3 de Agosto del año 2011.

Basándonos a los datos obtenidos gracias a la experimentación 1 determinamos los días en que se produjeron las cantidades máximas de biogás del día 21 al 25 dentro del proceso de digestión, y procedimos a recolectar el mismo en fundas Tedlar de 2000 mL de volumen que fueron conectadas directamente a la manguera de salida del biorreactor (ANEXO 16). A continuación abrimos la válvula de seguridad de la funda Tedlar y procedemos a acercar una fosforera y observamos la llama que se forma. (ANEXO 17).

2.5 SELECCIÓN DEL MODELO DEL BIORREACTOR.

Para la selección del modelo del biorreactor tomamos la información de la parte teórica relacionada con la clasificación de los biorreactores, posteriormente elaboramos una matriz de decisión, tomando en consideración aspectos económicos, físicos (topografía del sector), operacionales, facilidad y factibilidad de construcción, todo esto con el único objetivo de seleccionar el biorreactor que mejor se adapte a las condiciones de la EETE.

El proyecto cuenta con la identificación del problema que fue realizada con la visita a la zona de implementación del biorreactor, la misma contó con un ensayo experimental para determinar cantidades de la materia prima (estiércol) disponibles en la EETE, además tiene los principales factores a considerar para el diseño del biorreactor como selección del sitio, parámetros de diseño y diseño de forma, también se da a conocer etapas para la construcción, operación y un plan de mantenimiento para un correcto funcionamiento del mismo.

2.5.1 MATRIZ DE DECISIÓN.

Con la elaboración de la matriz de decisión se seleccionará al biorreactor que mejor se adapte a las condiciones de la EETE.

2.5.1.1 Definición de los aspectos considerados en la matriz de decisión:

a. Tipo de materia prima:

Se refiere al tipo de estiércol con que trabajan los diferentes biorreactores.

b. Vida útil:

Este concepto responde a la interrogante sobre cuánto tiempo durará operando el biorreactor.

c. Requerimientos de área:

El área requerida para la construcción de biorreactor puede ser factor fundamental en la toma de decisiones. La poca disponibilidad de terreno ó el alto costo del mismo pueden influir de manera decisiva en la factibilidad de ciertos procesos. En sentido inverso, un terreno barato y disponible favorecerá este tipo de procesos.

d. Costos:

Este es un factor muy importante en el diseño de un biorreactor porque se considerará los costos de inversión, operación y mantenimiento.

e. Construcción:

Este concepto se refiere a la disponibilidad de los materiales y al grado de complejidad en la construcción del biorreactor.

f. Operación y mantenimiento:

Bajo este rubro se agrupan conceptos que están relacionados con el funcionamiento y el mantenimiento del biorreactor para garantizar la producción del biogás programada, como son la flexibilidad de operación, confiabilidad del proceso y complejidad de su operación.

g. Rendimiento:

En este rubro pone énfasis en la productividad y en la eficiencia del biorreactor. Continuando con el desarrollo del proyecto se presenta una tabla de la ponderación de los factores a evaluar (ANEXO 18).

2.6 CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE DOMO

FIJO

Para el dimensionamiento del biorreactor de domo fijo tipo chino, utilizamos formulas, ecuaciones y cálculos de ingeniería, así determinamos los parámetros geométricos, los cuales fueron dibujados en planos por medio del programa autocad.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

Se utilizaron 5 vacas elegidas aleatoriamente de la EETE en su mayoría pertenecen a la raza Holstein, con una edad media de 5.8 años y un peso medio de UBA de 452 Kg. tal como se indica en el cuadro 1.

Cuadro 1: Datos de los Ejemplares Bovinos Escogidos.

# Arete	Nombre	Edad (años)	Raza	Peso (Kg)
395	Pricila	8	Mestiza	512
408	Brunita	7	H.A.C	471
422	Maira	6	Holstein	465
442	Maribel	5	Holstein	428
467	Frida	3	Holstein	385

FUENTE: AUTORES

3.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL PRE Y POST TRATAMIENTO.

3.1.1 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).

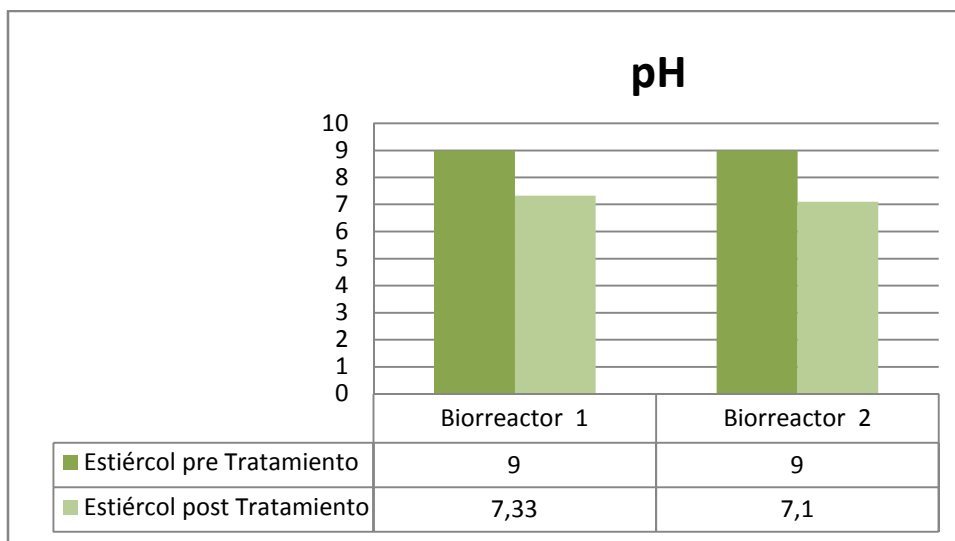
Las muestras de estiércol pre tratamiento analizadas del biorreactor 1 y 2, presentan valores de pH igual a 9, demostrando así que posee un carácter básico. Los valores de pH obtenidos post tratamiento se situaron. Para el biorreactor 1; 7.3 mientras que para el biorreactor 2; 7.1 como se indica en el cuadro 2.

Cuadro 2: Determinación de pH

Experimentación	Estiércol pre Tratamiento (pH)	Estiércol post Tratamiento (pH)
Biorreactor 1	9	7.33
Biorreactor 2	9	7.1

FUENTE: AUTORES

Figura 11: Comparación del pH. Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

De acuerdo a bibliografía, los microorganismos anaeróbicos necesitan un pH cercano a la neutralidad, para su adecuado desarrollo y además un tratamiento anaeróbico puede proceder bastante bien en un rango de pH entre 6.6–7.6. No obstante, si el pH cae por debajo de 6.2 el proceso suele ser menos eficiente (McCarty 1964).

Los resultados obtenidos demuestran que los rangos de pH obtenidos del proceso de fermentación anaeróbica en el laboratorio se encuentran en los valores óptimos para que el proceso se haya llevado a cabo exitosamente.

3.1.2 CENIZAS

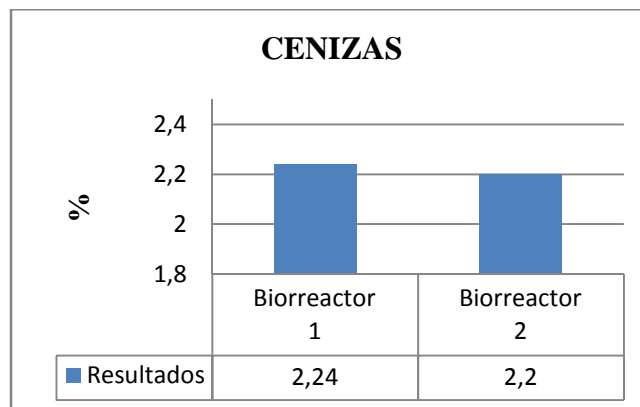
El análisis de cenizas se realizó solo en el estiércol pre-tratamiento debido a que este parámetro no es de mucha importancia dentro del proceso anaeróbico, obteniéndose los siguientes resultados como se indica en el cuadro 3.

Cuadro 3: Determinación de Cenizas

Experimentación	Cenizas (%)
Biorreactor 1	2,24
Biorreactor 2	2,20

FUENTE: AUTORES

Figura 12: Determinación del % de Cenizas en el Estiércol



FUENTE: AUTORES

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer la generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada.

3.1.3 HUMEDAD.

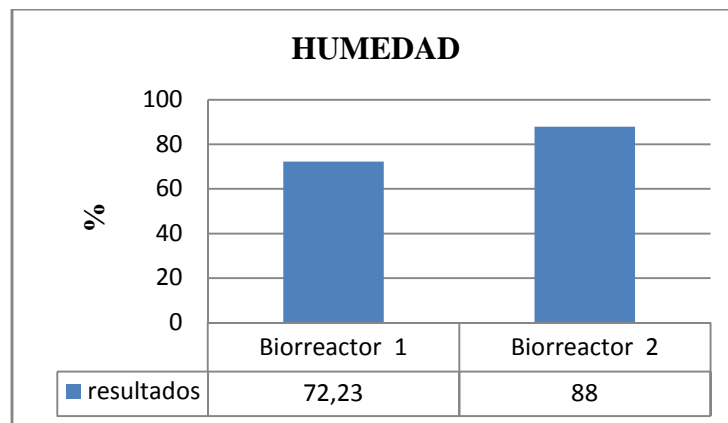
El análisis de humedad se realizó solo en el estiércol pre tratamiento debido a que este parámetro no es de mucha importancia dentro del proceso anaeróbico.

Cuadro 4: Determinación de Humedad

Experimentación	Humedad (%)
Biorreactor 1	72,23
Biorreactor 2	88

FUENTE: AUTORES

Figura 13: Determinación del % de Humedad en el Estiércol



FUENTE: AUTORES

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. El porcentaje de humedad para el biorreactor 1 fue 72,23% y para el biorreactor 2 fue de 88%.

3.1.4 SULFUROS.

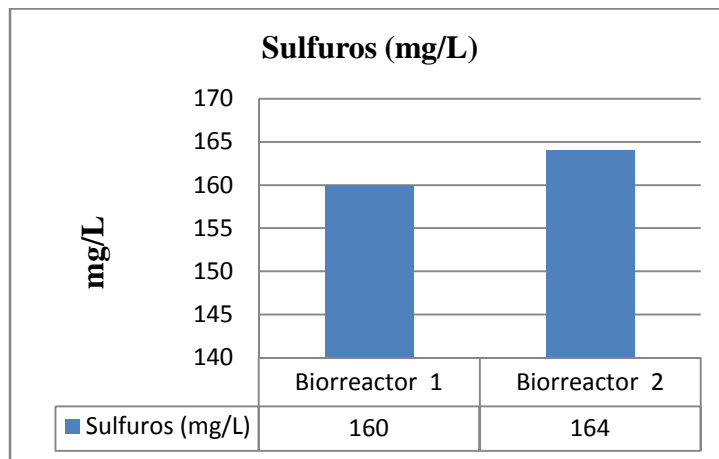
El cuadro 5 presenta la cantidad de sulfuros presentes en el estiércol pre tratamiento. Los valores de sulfuros tanto para el biorreactor 1 como para el biorreactor 2 fueron de 160mg/L y 164 mg/L respectivamente. Los sulfuros que están distribuidos en una forma soluble son los precursores del gas sulfhídrico (corrosivo y tóxico).

Cuadro5: Determinación de Sulfuros

Experimentación	Sulfuros (mg/L)
Biorreactor 1	160
Biorreactor 2	164

FUENTE: AUTORES

Figura 14: Determinación de Sulfuros en el Estiércol



FUENTE: AUTORES

De acuerdo a Mc Carty (1964), las formas solubles del sulfuro son un ácido débil que se ioniza en solución las cuales dependen sobre todo del pH. Además, debido a lo limitado de la solubilidad del sulfuro de hidrogeno, una cierta parte que se ha formado, escapa en el biogás del digestor anaeróbico.

3.1.5 ALCALINIDAD.

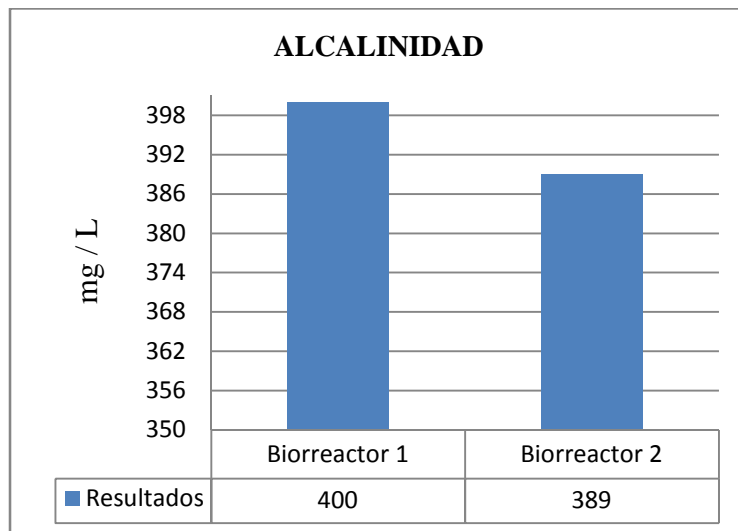
El estiércol de las muestras iniciales pre tratamiento presenta valores de 400 y 389 mg/L, para el biorreactor 1 y 2 respectivamente.

Cuadro 6: Determinación de Alcalinidad

Experimentación	Alcalinidad (mg/L)
Biorreactor 1	400
Biorreactor 2	389

FUENTE: AUTORES

Figura 15: Determinación de la Alcalinidad en el Estiércol



FUENTE: AUTORES

La alcalinidad da una medida de la capacidad amortiguadora (tampón) que posee un digestor ante posibles cambios del pH del efluente a tratar, y ya se ha visto la importancia de que el pH se mantenga más o menos constante dentro de un rango de valores. Esta alcalinidad va a determinar el que se puedan tratar o no residuos que no sean neutros.

3.1.6 SÓLIDOS TOTALES PRE Y POST-TRATAMIENTO.

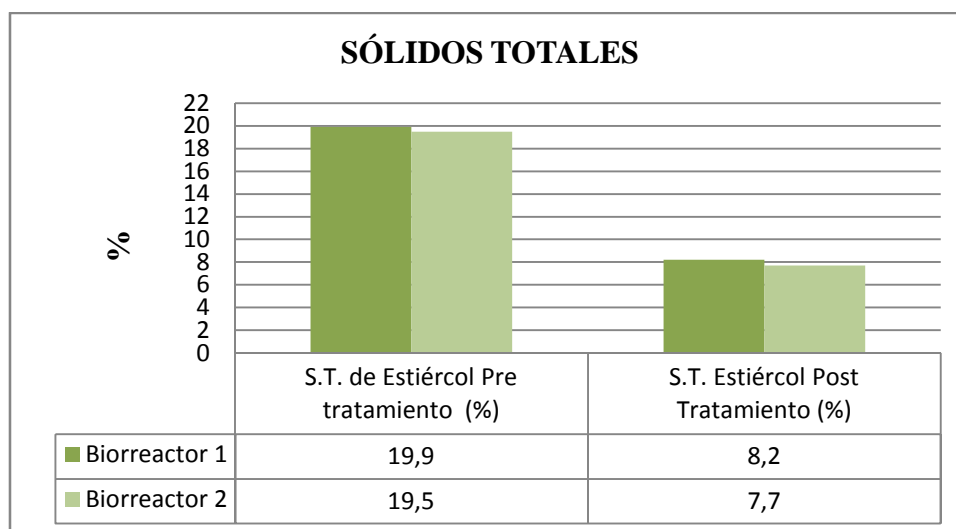
La remoción de sólidos totales post -tratamiento, se muestra en la Figura 16 la cual representa el 58,79%, y 60,51%, para el biorreactor 1 y 2 respectivamente.

Cuadro 7: Determinación de S.T

Experimentación	S.T. Estiércol Pre-tratamiento (%)	S.T. Estiércol Post-tratamiento (%)
Biorreactor 1	19,9	8,2
Biorreactor 2	19,5	7,7

FUENTE: AUTORES

Figura 16: Porcentajes de Sólidos Totales Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Estos valores se pueden considerar aceptables, si se compara con un sustrato de similar característica (estiércol bovino), para el cual Karim et al (2005), reporta un rango de remoción entre 37- 40%.

Los datos obtenidos en laboratorio dan como resultado que los sólidos totales fueron removidos mejor de lo esperado, pero aun existe material no del todo digerido por los microorganismos anaeróbicos. Los análisis de sólidos totales son importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico.

3.1.7 SÓLIDOS SUSPENDIDOS PRE Y POST-TRATAMIENTO.

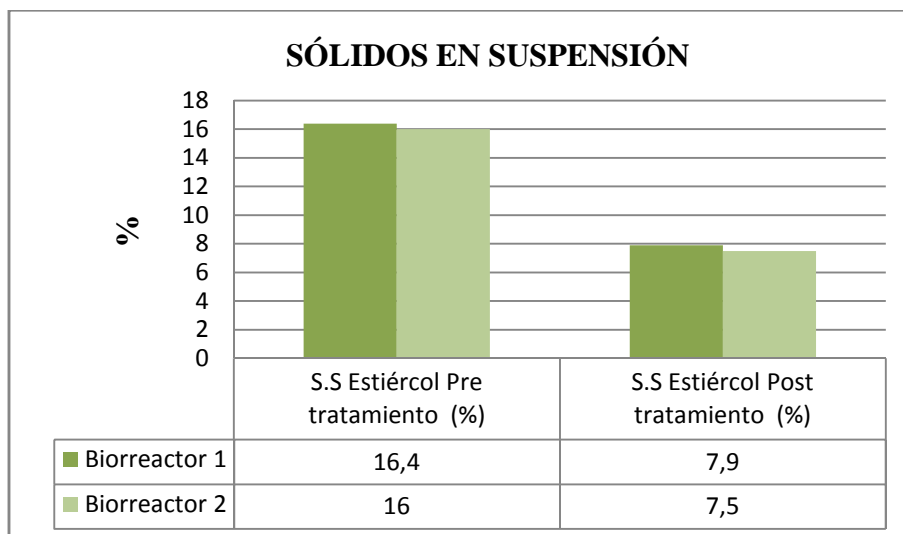
El cuadro 8 presenta el porcentaje de sólidos suspendidos en las muestras de estiércol pre y post-tratamiento.

Cuadro 8: Determinación de S.S

Experimentación	S.S Estiércol Pre-tratamiento (%)	S.S Estiércol Post-tratamiento (%)
Biorreactor 1	16,4	7,9
Biorreactor 2	16	7,5

FUENTE: AUTORES

Figura 17: Comparación de los Sólidos Suspendidos Pre y Post-Tratamiento



FUENTE: AUTORES

La Figura 17, presenta la remoción de los valores de sólidos suspendidos post-fermentación de 51,82% y 53,12 %, para el biorreactor 1 y 2 respectivamente, lo que sugiere que el desecho post tratamiento presenta material orgánico no del todo digerido por los microorganismos anaeróbicos.

3.1.8 SÓLIDOS VOLÁTILES PRE Y POST-TRATAMIENTO.

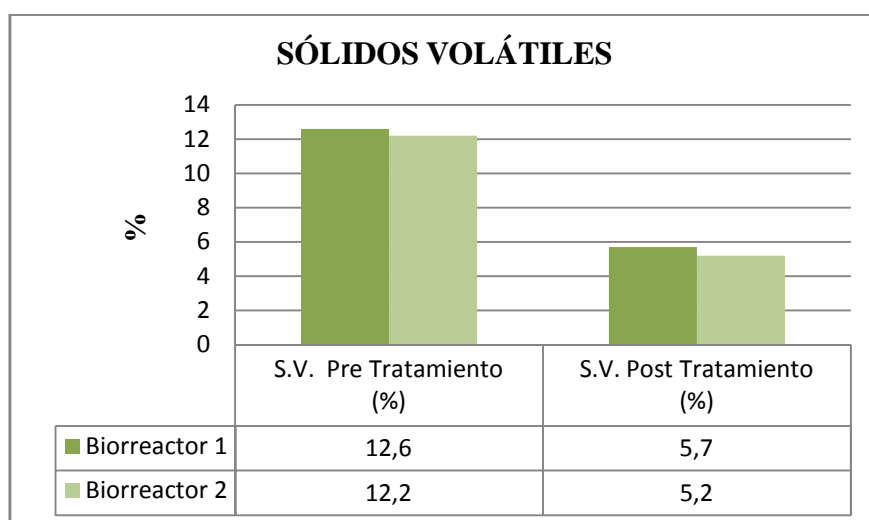
El cuadro 9 presenta el porcentaje de sólidos volátiles en las muestras de estiércol pre y post- tratamiento.

Cuadro 9: Determinación de S.V

Experimentación	S.V. Pre-tratamiento (%)	S.V. Post-tratamiento (%)
Biorreactor 1	12,6	5,7
Biorreactor 2	12,2	5,2

FUENTE: AUTORES

Figura 18: Determinación de los Sólidos Volátiles en el Estiércol



FUENTE: AUTORES

La Figura 18, presenta la remoción de sólidos volátiles para el sustrato post-fermentación de 54,76 % y 57,37%, para el biorreactor 1 y 2 respectivamente. Karim et al (2005) informa que el rango de remoción de sólidos volátiles obtenido en su autoría fue de 50-63%, los cuales indican que nuestros valores de remoción se encuentran dentro del rango sugerido por el autor para la presente tesis, lo que indica que la mezcla estiércol y agua dentro del biorreactor a escala, presenta material orgánico no del todo digerido por los microorganismos anaeróbicos.

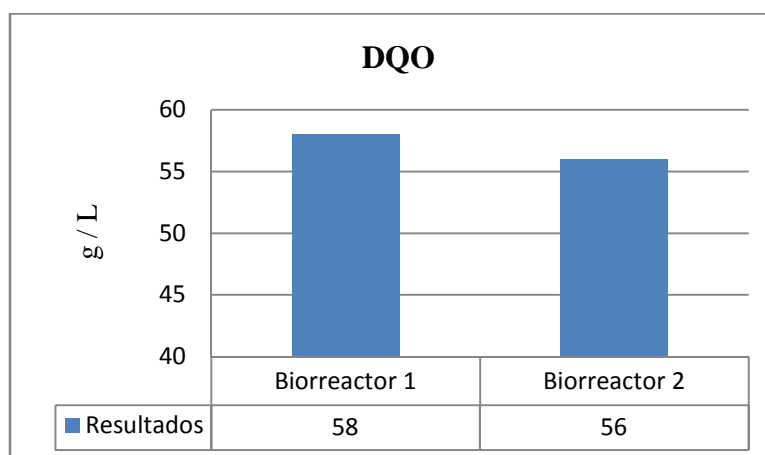
3.1.9 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.

Cuadro 10: Determinación D.Q.O

Experimentación	D.Q.O del Estiércol (g/L)
Biorreactor 1	58
Biorreactor 2	56

FUENTE: AUTORES

Figura 19: Determinación de la D.Q.O en el estiércol.



FUENTE: AUTORES

En la Figura 19 se indican los valores para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) para el estiércol pre-tratamiento para el biorreactor 1 y para el biorreactor 2 indican valores de 58 y 56 g/L, respectivamente. Este valor da una idea del contenido orgánico total ya sea biodegradable o no (Winkler 1998).

3.1.10 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO PRE Y POST-TRATAMIENTO PRE Y POST-TRATAMIENTO.

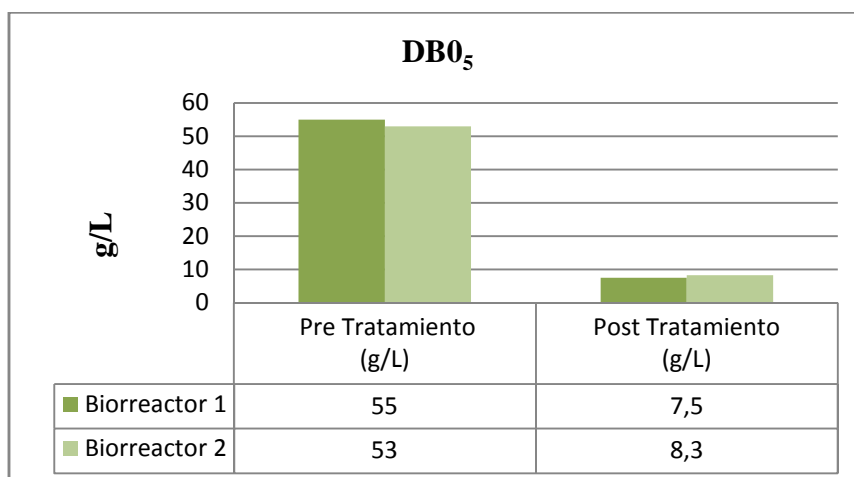
Un parámetro importante dentro de la digestibilidad de la materia orgánica es la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) que es el consumo de oxígeno en g/L de suspensión por acción de microorganismos.

Cuadro 11: Determinación DBO₅

Experimentación	Pre-tratamiento (g/L)	Post-tratamiento (g/L)
Biorreactor 1	55	7,5
Biorreactor 2	53	8,3

FUENTE: AUTORES

Figura 20: Comparación de la DBO₅.Pre y Post-Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Este parámetro es proporcional al contenido de materia orgánica en la suspensión a degradar y representa la degradabilidad de la misma. Con valores de reducción de carga contaminante de un 60 y 90% post-tratamiento, dependiendo del tiempo de que permanezca el residuo en el biorreactor y de la temperatura.

La reducción de la degradabilidad de la materia orgánica para el biorreactor 1 es del 86,36%. La reducción de la degradabilidad de la materia orgánica para el biorreactor 2 es del 84,33%. Estos valores están dentro del rango porcentual para la degradabilidad de la DBO₅, como ya se menciono anteriormente.

3.1.11 NITRÓGENO PRE Y POST-TRATAMIENTO.

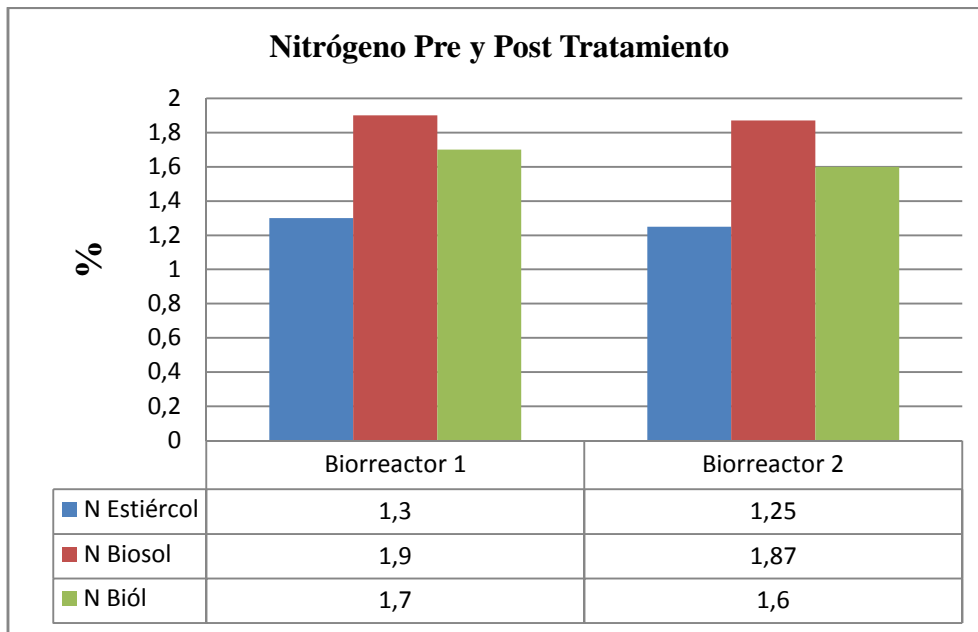
En el caso del nitrógeno buena parte del mismo presente en el estiércol en forma de moléculas es convertido a formas más simples como el amonio (NH₄⁺), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta.

Cuadro 12: Determinación de Nitrógeno.

Experimentación	N presente en el Estiércol (%)	N presente en el Biosol (%)	N presente en el Biól (%)
Biorreactor 1	1,3	1,9	1,7
Biorreactor 2	1,25	1,87	1,6

FUENTE: Laboratorio de Suelos Facultad RRNN

Figura 21: Comparación del Nitrógeno Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Observando la Figura 21, indican las variaciones de nitrógeno en el transcurso del proceso anaeróbico. Hay que tener en cuenta que en los casos dónde el estiércol es secado al medio ambiente, es decir si no se le da un tratamiento biológico se pierde alrededor del 50% de Nitrógeno.

El estiércol pre-fermentación presenta porcentajes de nitrógeno para el biorreactor 1 y 2 valores de 1,3 y 1,25% respectivamente. El biosol post-fermentación para el biorreactor 1 y 2 tiene valores de 1,9 y 1,87% respectivamente y el biól post-fermentación, tienen valores de nitrógeno de 1,7 y 1,6%, respectivamente. De acuerdo a Sánchez et al (2000), como consecuencia de la digestión anaeróbica, las proteínas (nitrógeno orgánico), aminoácidos y urea presentes en el sustrato son transformados en parte a nitrógeno total, es por esto que existe un incremento de tal elemento.

3.1.12 FÓSFORO PRE Y POST-TRATAMIENTO.

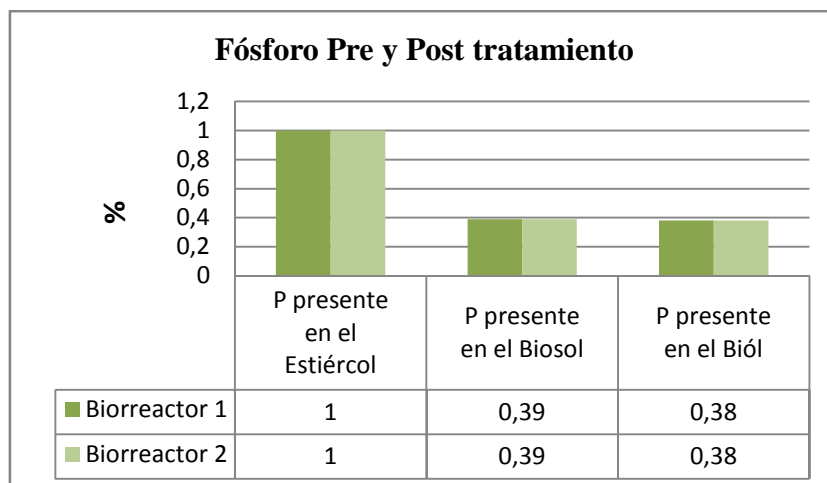
El cuadro 13 indica el porcentaje de Fósforo del estiércol pre-fermentación el cual fue del 1%, en tanto que para el biosol el valor fue del 0,39% tanto para el biorreactor 1 y 2, mientras que para el biól los resultados fueron de 0,38% de igual manera para ambos biorreactores.

Cuadro 13: Determinación de Fósforo.

Experimentación	P presente en el Estiércol (%)	P presente en el Biosol (%)	P presente en el Biól (%)
Biorreactor 1	1	0,39	0,38
Biorreactor 2	1	0,39	0,38

FUENTE: Laboratorio de Suelos Facultad RRNN

Figura 22: Comparación del Fósforo Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Esto podría deberse, de acuerdo a Sánchez et al (2000), a que parte del Fósforo es transformado por reducción biológica y/o asimilado por los microorganismos que actúan en el proceso de fermentación anaeróbica.

3.1.13 POTASIO PRE Y POST-TRATAMIENTO.

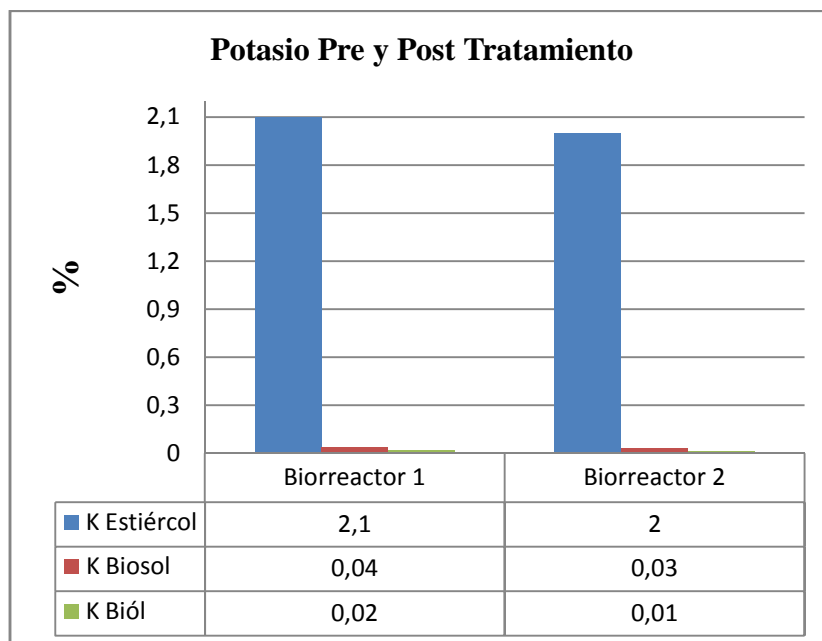
El cuadro 14 indica el porcentaje de Potasio del estiércol pre-fermentación el cual fue del 2.1% y 2% para el biorreactor y 2 respectivamente, en tanto que para el biosol el valor fue del 0,04% para el biorreactor 1 mientras que para el biorreactor 2 fue de 0,03%, y los resultados para el biól fueron de 0,02% y 0,01% para el biorreactor 1 y 2 respectivamente.

Cuadro 14: Determinación de Potasio

Experimentación	K presente en el Estiércol (%)	K presente en el Biosol (%)	K presente en el Biól (%)
Biorreactor 1	2,1	0,04	0,02
Biorreactor 2	2	0,03	0,01

FUENTE: Laboratorio de Suelos Facultad RRNN

Figura 23: Comparación del Potasio Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Estos valores podrían deberse, de acuerdo a Sánchez et al (2000), a que parte del Fósforo es transformado por reducción biológica y/o asimilado por los microorganismos que actúan en el proceso de fermentación anaeróbica.

3.1.14 AEROBIOS MESÓFILOS PRE Y POST-TRATAMIENTO.

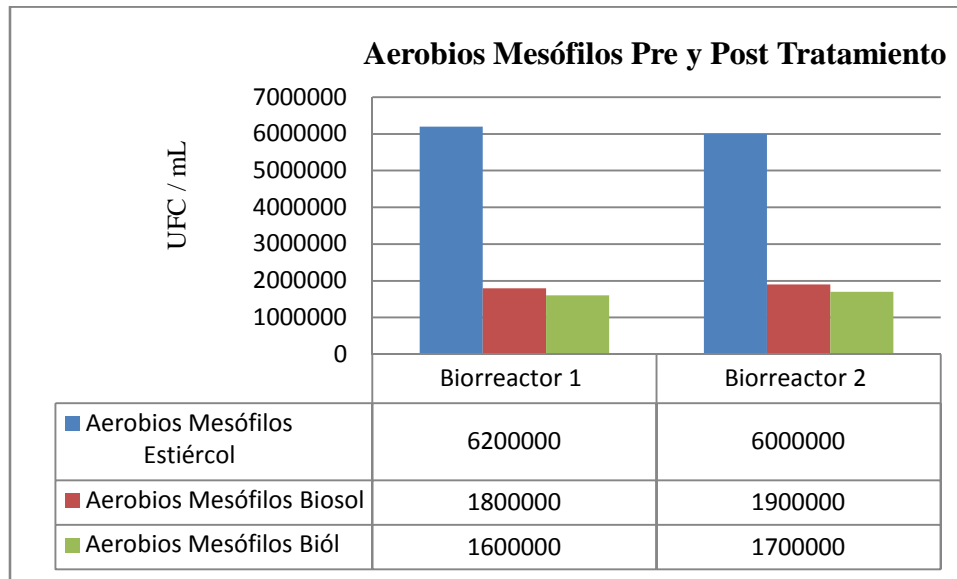
El cuadro 15 indican las Unidades formadoras de Colonias en Aerobios Mesófilos para el sustrato pre-fermentación dando como resultado el $6,2 \times 10^6$ UFC, en tanto que para el sustrato post-fermentación del biosol para los biorreactores 1 y 2 fue del $1,80 \times 10^6$ UFC y $1,90 \times 10^6$ UFC, los aerobios mesófilos para el biól en los biorreactores 1 y 2 obtuvieron valores de $1,60 \times 10^6$ UFC y $1,70 \times 10^6$ UFC.

Cuadro 15: Determinación de Aerobios Mesófilos

Experimentación	Aerobios Mesófilos presentes en el Estiércol (UFC/mL)	Aerobios Mesófilos presentes en el Biosol (UFC/mL)	Aerobios Mesófilos presentes en el Biól (UFC/mL)
Biorreactor 1	$6,2 \times 10^6$	$1,80 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$
Biorreactor 2	6×10^6	$1,90 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$

FUENTE: Laboratorio de Fitopatología Facultad RRNN

Figura 24: Comparación de los Aerobios Mesófilos Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

La figura 24 indica la disminución en porcentaje de aerobios mesófilos para el biorreactor 1 y 2 de poblaciones bacterianas en el biosol del 97,1 %, y para el biól una reducción del 97,41%

3.1.15 COLIFORMES TOTALES PRE Y POST-TRATAMIENTO.

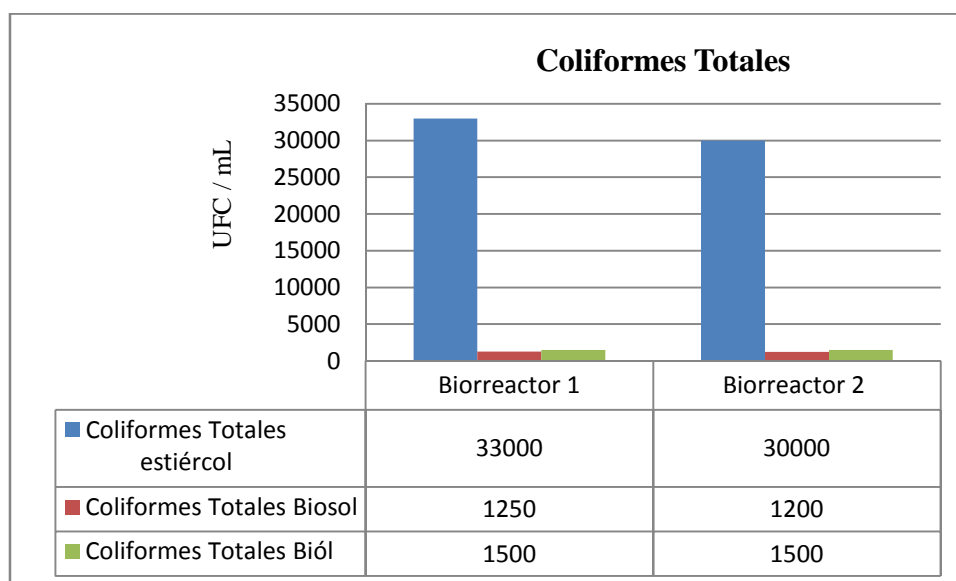
El cuadro 16 compara los valores de Coliformes totales pre y post tratamiento tanto para el biorreactor 1 y 2, obteniéndose valores de 33000 UFC/mL para el biorreactor 1 y 30000 UFC/mL para el biorreactor 2 en lo referente al estiércol pre-tratado, mientras que los valores para el biosol fueron 1250 UFC/mL y 1200 UFC/mL, y los valores referentes al biól fueron 1500 UFC/mL.

Cuadro 16: Determinación de Coliformes Totales

Experimentación	Coliformes Totales presentes en el Estiércol (UFC/mL)	Coliformes Totales presentes en el Biosol (UFC/mL)	Coliformes Totales presentes en el Biól (UFC/mL)
Biorreactor 1	$3,3 \times 10^4$	$1,25 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$
Biorreactor 2	3×10^4	$1,2 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$

FUENTE: Laboratorio de Fitopatología Facultad RRNN

Figura 25: Comparación de los Coliformes Totales Pre y Post-Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Los coliformes totales se refieren a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*, tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal por tanto, si se trata de una manera adecuada a los desechos orgánicos (estiércol) en este caso por medio de una biodigestión se logrará que los efluentes se encuentren bacteriológicamente seguros.

De todo el proceso anaeróbico va quedando un efluente que es sólido (biosol) y líquido (biól), menos agresivo en cuanto a poblaciones bacterianas que el original (estiércol), el cual puede ser utilizado como bioabono o fertilizante por su riqueza en determinados nutrientes, y una vez realizada la digestión se puede observar una reducción de poblaciones bacterianas en el biosol del 96%, y para el biól una reducción del 95%, tanto para el biorreactor 1 y 2 respectivamente, tal como se indica en la figura 25.

3.1.16 RELACIÓN C/N PRE Y POST-TRATAMIENTO.

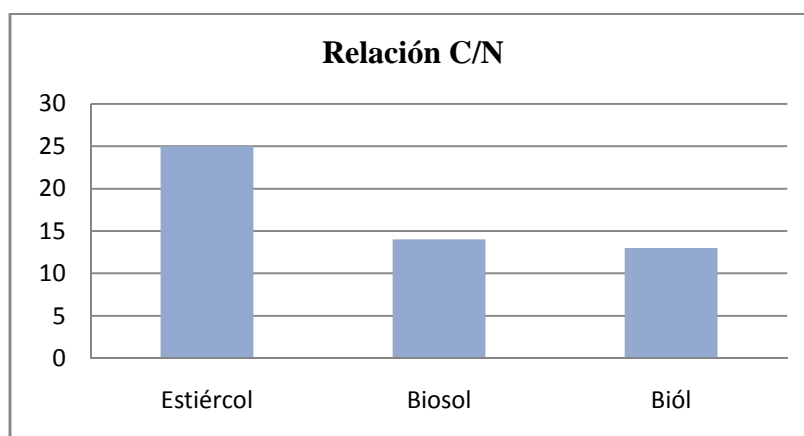
El cuadro 17 indican los valores de la relación C/N de la muestra inicial de estiércol pre-tratamiento es de 25:1 y post tratamiento como el biól y biosol obtuvieron resultados de 14:1 y 13:1 respectivamente.

Cuadro 17: Relación C/N

RELACIÓN C/N	
Estiércol	25:1
Biosol	14:1
Biól	13:1

FUENTE: Laboratorio de Suelos Facultad RRNN

Figura 26: Comparación de Relación C/N Pre y Post Tratamiento



FUENTE: AUTORES

Según Sosa et al (1998), la relación C/N 30:1 hasta 10:1 es aceptable para este tipo de proceso, pero una relación menor a 8:1 inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de una excesiva cantidad de amonio. La figura 26 indica que los valores del estiércol pre y post-tratamiento se encuentran en los rangos que recomienda bibliografía para iniciar al proceso. La idea de la digestión anaeróbica es convertir todo el carbono posible a CH₄, con la menor pérdida posible de N.

3.2 OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y ELECCIÓN DEL BIORREACTOR

Para la preparación de la carga del biorreactor 1 y 2 pesamos el estiércol de vaca, utilizando 1700 gramos en total de materia orgánica y se agregó 1.7 litros de agua, teniendo en cuenta en este caso una relación estiércol y agua de 1:1, tal como se sugiere en la tabla 11.

3.2.1 OBTENCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL BIORREACTOR 1 TIPO BATCH.

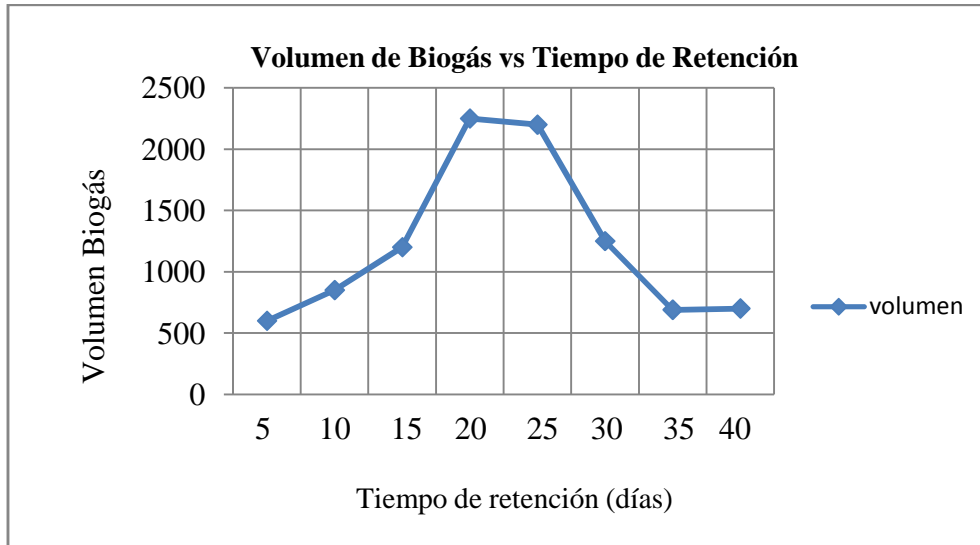
Los valores máximos diarios que reporto el biorreactor 1 son: 2.950mL, 2.850mL, 2850mL, 2650mL y 2.600mL, que corresponden del 19 al 23^{avo} día del tiempo de retención dentro del proceso de fermentación anaeróbica. El cuadro 18 y figura 27 muestran valores de producción de biogás cada 5 días. Para una concentración de sólidos totales del 8,5%. Con una producción total de biogás en un tiempo de cuarenta días de 44.98L. Los datos reportados diariamente de biogás se encuentran en el ANEXO 20.

Cuadro 18: Datos de Producción de Biogás B1

Tiempo de Retención(días)	5	10	15	20	25	30	35	40
Volumen(mL)	600	850	1200	2250	2200	1250	690	700

FUENTE: AUTORES

Figura 27: Volumen de Biogás por el Tiempo de Retención Biorreactor 1



FUENTE: AUTORES

3.2.2 OBTENCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL BIORREACTOR 2 TIPO BATCH

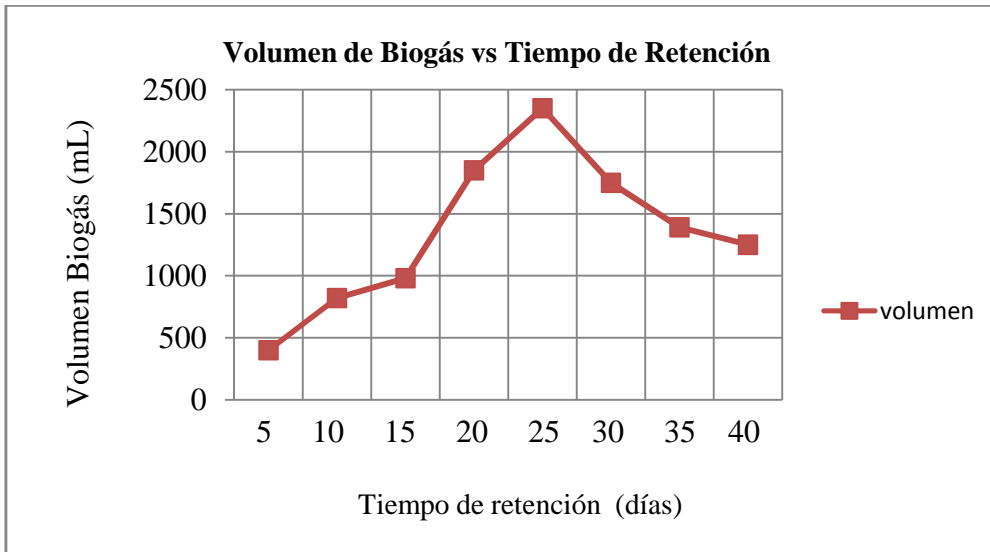
Los valores máximos diarios que reporto el biorreactor 2 son: 2.200mL, 2.550mL, 2650mL, 2550mL y 2.350mL, que corresponden del 23 al 27^{avo} día del tiempo de retención dentro del proceso de fermentación anaeróbica. El cuadro 19 y figura 28 muestran valores de producción de biogás cada 5 días. Para una concentración de sólidos totales del 8%. Con una producción total de biogás en un tiempo de cuarenta días de 42,70L. Los datos reportados diariamente de biogás se encuentran en el ANEXO 21.

Cuadro 19: Datos de Producción de Biogás B2

Tiempo de Retención(días)	5	10	15	20	25	30	35	40
Volumen(mL)	400	820	980	1850	2350	1750	1390	1250

FUENTE: AUTORES

Figura 28: Volúmenes de Biogás por el Tiempo de Retención Biorreactor 2



FUENTE: AUTORES

3.2.3 CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL BIORREACTOR 1 DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN

El cuadro 20 y la figura 29 indican los valores de temperatura registradas en el interior del biorreactor a escala tipo Batch cada 5 días. El proceso inicio con una temperatura promedio hasta el decimo día de 26.4 °C, y así posteriormente obteniendo datos promedio cada diez días de operación los resultados son los siguientes: día 11-20; 32°C, día 21-30; 35.3°C, día 31-40; 35.4°C.

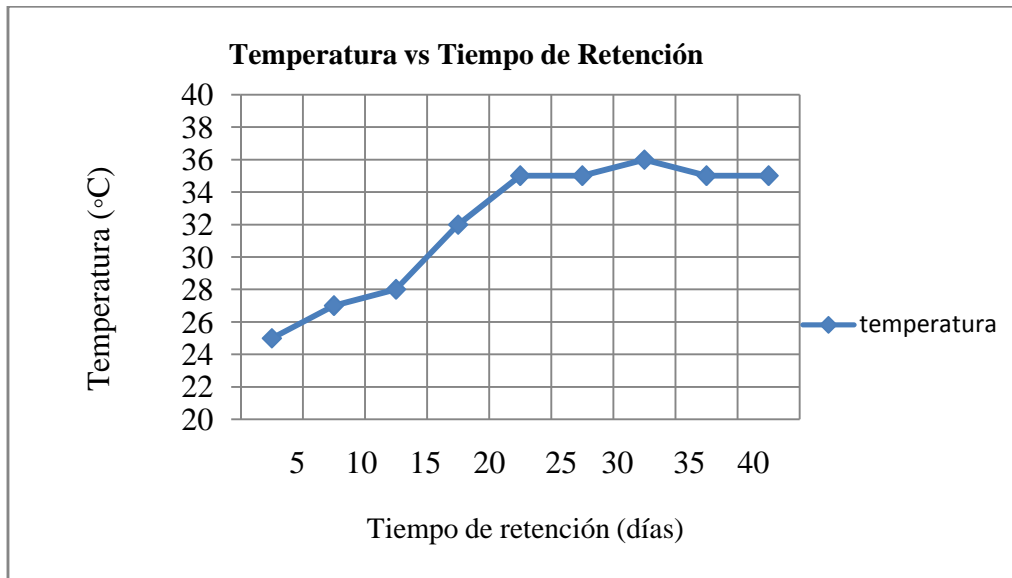
Estos datos demuestran que el proceso mantuvo un incremento gradual de su temperatura hasta alcanzar y mantener una temperatura interna de 35°C, siendo este valor el ideal para que el proceso fermentativo sea exitoso.

Cuadro 20: Datos de Temperatura Diarios B1

T.R (días)	1	5	10	15	20	25	30	35	40
T (°C)	25	27	28	32	35	35	36	35	35

FUENTE: AUTORES

Figura 29: TEMPERATURA B1 vs TR



FUENTE: AUTORES

Los valores iniciales, promedios y finales de la temperatura indican que el biorreactor trabajó en un rango mesofílico como lo indica bibliografía (34). Los datos reportados diariamente de la temperatura se encuentran en el ANEXO 22.

3.2.4 CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL BIORREACTOR 2 DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN

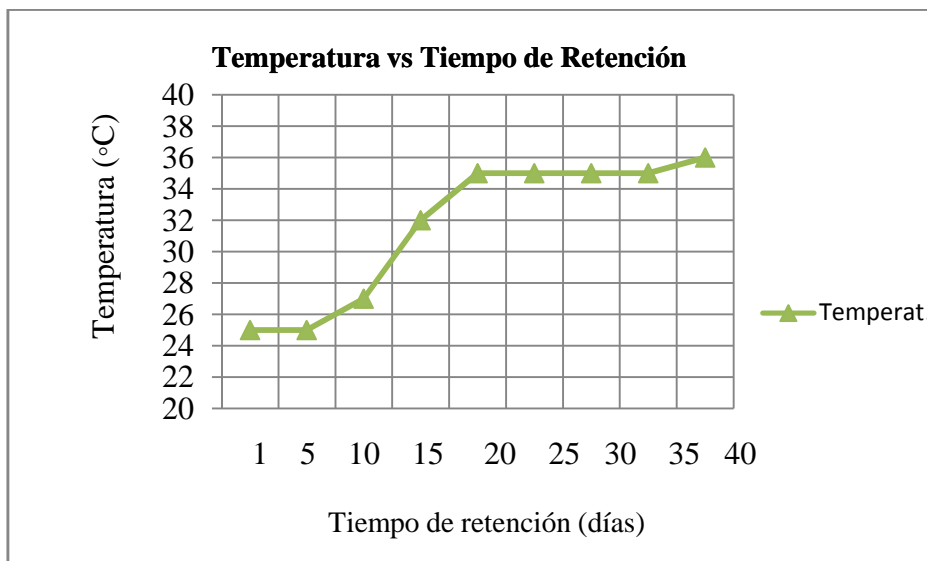
El cuadro 21 y la figura 30 indican los valores de temperatura registradas en el interior del biorreactor a escala tipo Batch cada 5 días. El proceso inicio con una temperatura promedio hasta el decimo día de 25.7°C, y así posteriormente obteniendo datos promedio cada diez días de operación los resultados son los siguientes: día 11-20; 31.2°C, día 21-30; 34.8°C, día 31-40; 35.1°C, estos datos demuestran que el proceso mantuvo un incremento gradual de su temperatura hasta alcanzar y mantener una temperatura interna de 35°C, siendo este valor el ideal para que el proceso fermentativo sea exitoso.

Cuadro 21: Datos de Temperatura Diarios B2

T.R (días)	1	5	10	15	20	25	30	35	40
T(°C)	25	25	27	32	35	35	35	35	36

FUENTE: PROPIA

Figura 30: TEMPERATURA B2 VS TR



FUENTE: AUTORES

Los valores iniciales, promedios y finales de la temperatura indican que el biorreactor trabajo en un rango mesofílico como lo indica bibliografía (28). Los datos reportados diariamente de la temperatura se encuentran en el ANEXO 23.

3.2.5 MATRICES PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO DE BIORREACTOR.

Cuadro 22: Matriz de Preselección Diseño Modelo de Campana Flotante o Hindú

BIORREACTOR DE CAMPANA FLOTANTE O HINDÚ					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
1	5	TIPO DE MATERIA PRIMA	5	1	5
2	15	VIDA ÚTIL	3	0,6	9
3	5	REQUERIMIENTOS DE. ÁREA	5	1	5
4	20	COSTOS	3	0,6	12
5	15	CONSTRUCCIÓN	5	1	15
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	1	0,2	3
7	25	RENDIMIENTO	3	0,6	15
TOTAL	100				64

FUENTE: AUTORES

La biorreactor modelo Hindú tiene una calificación del 64%, este tipo tiene como desventaja su tiempo de vida útil ya que necesariamente el gasómetro tipo campana está sujeto a oxidación y corrosión debido a sus componentes de metal y acero.

Cuadro 23: Matriz de Preselección Diseño Modelo de Domo Fijo o Chino

BIORREACTOR DE DOMO FIJO O TIPO CHINO					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
1	5	TIPO DE MATERIA PRIMA	5	1	5
2	15	VIDA ÚTIL	5	1	15
3	5	REQUERIMIENTOS DE. ÁREA	5	1	5
4	20	COSTOS	3	0,6	12
5	15	CONSTRUCCIÓN	3	0,6	9
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	5	1	15
7	25	RENDIMIENTO	3	0,6	15
TOTAL	100				76

FUENTE: AUTORES

El biorreactor tipo chino tiene una aceptación del 76%, debido a que el costo de construcción, su operación y mantenimiento y su eficaz rendimiento comprobado por muchos años, hacen que este tipo de biorreactor sea elegido para el diseño en la EETE.

Cuadro 24: Matriz de Preselección de Diseño Modelo Biorreactor de Bolsa.

BIORREACTOR DE BOLSA					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
1	5	TIPO DE MATERIA PRIMA	5	1	5
2	15	VIDA ÚTIL	1	0,2	3
3	5	REQUERIMIENTOS DE. ÁREA	5	1	5
4	20	COSTOS	5	1	20
5	15	CONSTRUCCIÓN	5	1	15
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	3	0,6	9
7	25	RENDIMIENTO	1	0,2	5
TOTAL	100				62

FUENTE: AUTORES

En el biodigestor tipo bolsa tiene una calificación del 62%, con muy poca aceptación para el diseño que la EETE necesita, debido a que su tiempo de vida útil y su rendimiento son muy bajos, debido básicamente a los componentes de su fabricación principalmente plástico y caucho.

Cuadro 25: Matriz de Preselección de Diseño Modelo de Flujo Inducido.

BIORREACTOR DE ALTA VELOCIDAD O DE FLUJO INDUCIDO					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
1	5	TIPO DE MATERIA PRIMA	5	1	5
2	15	VIDA ÚTIL	5	1	15
3	5	REQUERIMIENTOS DE. ÁREA	5	1	5
4	20	COSTOS	1	0,2	4
5	15	CONSTRUCCIÓN	3	0,6	9
6	15	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	1	0,2	3
7	25	RENDIMIENTO	5	1	25
TOTAL	100				66

FUENTE: AUTORES

Este tipo de biorreactor tiene una calificación del 66%, cuenta con diversos componentes y una tecnología que está diseñada para proveer un alto rendimiento de producción de biogás, pero su alto costo, su operación, mantenimiento y construcción, lo hacen que no sea considerado para el proyecto.

3.3 CÁLCULO DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para el cálculo del diseño de un biorreactor para generar biogás y bioabonos se puede partir de dos análisis diferentes:

- ✓ Que se conozcan las cantidades exactas de las materias orgánicas que deseamos procesar y a partir de ellas calcular todo el biogás y abono, así como el tamaño adecuado del biorreactor para el tratamiento de el material deseado.

- ✓ Que conozcamos la cantidad de energía biogás y abono que se requiere suministrar y a partir de estos valores, calcular la materia orgánica que se requiera y su correspondiente digestor.

Por cualquiera de los dos caminos mencionados, se llega al dimensionamiento del biorreactor. El cálculo del aporte orgánico de la población animal para una temperatura ambiente de 10 a 25 °C (Psicrofilica), se realiza a partir de los datos del cuadro 26 (40).

Cuadro 26: Vacas Utilizadas en la Medición de la Cantidad de Estiércol Diario.

# arete	Nombre	Edad(años)	Raza	Peso (kg)
395	Pricila	8	Mestiza	512
408	Brunita	7	H.A.C	471
422	Maira	6	Holstein	465
442	Maribel	5	Holstein	428
467	Frida	3	Holstein	385

FUENTE: EETE 2011

$$\text{peso medio UBA} = \frac{512 + 471 + 465 + 428 + 385}{5}$$

$$\text{peso medio UBA} = 452.2 \text{ Kg}$$

Cuadro 27: Determinación de la Cantidad Excretas Diarias por UBA.

Cantidad de excretas / día en Kg.				
día 1	día 2	día 3	día 4	día 5
89	87.5	96,5	94	88.5
17,8	17,5	19,3	18,8	17,7

FUENTE: AUTORES

$$C_{ed} = \frac{17,8 + 17,5 + 19,3 + 18,8 + 17,7}{5}$$

$$C_{ed} = 18,22 \text{ Kg/día}$$

Cuadro 28: Tiempo de Estabulación UBAs en la EETE.

Tiempo de Estabulación UBA en la EETE					
TIEMPO (horas: minutos)	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5
hora de entrada	14:10	14:20	14:00	14:15	14:10
hora de salida	8:40	8:45	9:00	8:35	8:35
T medio diario	18:30	18:25	19	18:20	18:25

FUENTE: AUTORES

$$T_e = \frac{18:30 + 18:25 + 19 + 18:20 + 18:25}{5}$$

$$T_e = 18,40 \text{ horas}$$

Cuadro29: Determinación del Peso Medio de las Vacas en Producción EETE.

Vacas en Producción					
# VACAS	# Arete	Edad(años)	Nombre	Raza	Peso (kg)
1	409	7	Martinita	MESTIZA	471
2	394	8	Maria	MESTIZA	556
3	392	8	Ermiña	MESTIZA	453
4	347	10	Preciosa	H.A.C	622
5	448	5	Selena	HOLSTEIN	422
6	464	4	Sharon	HOLSTEIN	385
7	469	4	Lina	HOLSTEIN	385
8	450	5	Ruthmar	HOLSTEIN	488
9	479	3	Dalila	HOLSTEIN	268
10	428	7	Bombom	HOLSTEIN	512
11	473	4	Titina	HOLSTEIN	332
12	433	6	Lorena	HOLSTEIN	528
13	471	4	Belleza	HOLSTEIN	370
14	393	8	Manuela	MESTIZA	459
15	466	4	Siomara	HOLSTEIN	373
16	424	7	Anabel	HOLSTEIN	484
17	415	7	Difícil	H.M	477
18	453	5	Sol	HOLSTEIN	434
19	474	4	Soraya	HOLSTEIN	332
20	462	4	Sherlin	HOLSTEIN	465
21	418	7	Normita	H.A.C	416
22	460	4	Yoko	HOLSTEIN	344
23	461	4	Katy	HOLSTEIN	367
24	463	4	Lesly	HOLSTEIN	347

FUENTE: EETE 2011

El peso promedio de las vacas en producción de la estación experimental Tunshi es de 428.75 Kg.

Cuadro 30: Determinación del Peso Medio de las Vacas Secas EETE.

Vacas Secas					
# VACAS	# Arete	Nombre	Edad(años)	Raza	Peso (kg)
1	395	Pricila	8	Mestiza	512
2	408	Brunita	7	H.A.C	471
3	422	Maira	6	Holstein	465
4	442	Maribel	5	Holstein	428
5	467	Frida	3	Holstein	385
6	406	Chorread	8	H.A.C	477
7	443	Melenuda	5	Holstein	422
8	458	Gala	5	Holstein	471
9	440	Mishel	5	Holstein	428

FUENTE: EETE 2011

El peso promedio de las 9 vacas secas en la estación experimental Tunshi es de 451 Kg.

Cuadro 31: Determinación del Peso Medio de las Vaconas Vientre EETE.

Vaconas Vientre					
# VACAS	# Arete	Edad(años)	Nombre	Raza	Peso (kg)
1	467	4	Frida	HOLSTEIN	385
2	470	4	Mery	HOLSTEIN	338
3	472	4	Liz	HOLSTEIN	283
4	477	3	Lila	HOLSTEIN	268
5	480	3	Sahara	HOLSTEIN	222
6	481	3	Esther	HOLSTEIN	231
7	482	3	Ruth	HOLSTEIN	264
8	484	3	Shuyana	HOLSTEIN	214
9	485	3	Ivon	HOLSTEIN	218
10	486	3	Yuri	HOLSTEIN	222
11	488	3	Lizabeth	HOLSTEIN	214
12	503	3	Flor	HOLSTEIN	206
13	508	3	Liz	HOLSTEIN	191

14	515	2	Lala	HOLSTEIN	137
15	517	2	Rina	HOLSTEIN	128
16	519	2	Meribert	HOLSTEIN	128
17	520	2	Luz	HOLSTEIN	122
18	521	2	Deysi	HOLSTEIN	104
19	522	2	Andrea	HOLSTEIN	116
20	524	2	Rosita	HOLSTEIN	105
21	525	2	Cleo	HOLSTEIN	105
22	527	2	Sahara	HOLSTEIN	110

FUENTE: EETE 2011

El peso promedio de las 22 vacas vientre de la estación experimental se encuentra en 196 Kg. por unidad bovina.

Cuadro 32: Determinación Aporte Orgánico de la Población Bobina EETE

DETERMINACIÓN APORTE ORGÁNICO DE LA POBLACIÓN BOBINA EN LA EETE					
Tipo	# Cabezas de Ganado	PV_P (Kg)	PV_E (Kg)	Cant. excreta kg/día	Te horas/día
Vacas productoras	24	428,75	452,2	18,22	18,40
Vacas secas	9	451	452,2	18,22	18,40
Vaonas vientre	22	195,5	200	10	18,40

FUENTE: AUTORES

Donde:

P_{Vp}: Peso vivo promedio de la población animal de diseño.

P_{Ve}: Peso vivo equivalente referencia Estación Experimental Tunshi-Espoch.

Te: Horas del día que el animal permanece estabulado.

Cálculo de la cantidad de estiércol que produce la EETE:

Datos vacas productoras y secas:

$$C_{eUBA} = \# \text{ Cabezas UBA} * (P_{Vp} / P_{Ve}) * \text{cantidad de excreta} * (Te / 24) = \text{kg de estiércol/día}$$

$$C_{eUBA} \left(33 * \frac{440}{452.2} \right) * 18,22 \left(\frac{18,4}{24} \right)$$

$$C_{eUBA} = 450 \text{ Kg} \frac{\text{estiércol}}{\text{día}}$$

Datos vacas vientre:

$$C_{eUBV} = \# \text{ Cabezas UBV} * (P_{Vp} / P_{Ve}) * \text{cantidad de excreta} * (Te / 24)$$

$$C_{eUBV} = \left(22 * \frac{195,5Kg}{200Kg} \right) * 9Kg \left(\frac{18,4h}{24h} \right)$$

$$C_{eUBV} = 149 \text{ kg estiércol / día}$$

$$C_{ET} = (450+149) \text{ Kg estiércol / día}$$

$$C_{ET} = 599 \text{ Kg estiércol / día}$$

3.4 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA QUE CONSUME Y NECESITA MENSUALMENTE LA EETE.

La EETE consume:

Lavado de equipos: 4 tanques de 15Kg = 60kg GLP al mes

Cocina pasantías: 2 tanques de 15 Kg = 30kg GLP al mes

Necesidades EETE:

Calefón: 2 tanques de 15 Kg = 30 kg GLP al mes

Centro de procesamiento de cárnicos: 1 tanque de 15 Kg = 15 Kg GLP al mes

La cantidad que consume y necesita la EETE es de 135 kg de GLP mensual.

Cálculo de la cantidad de GLP en m³ de Biogás

$$\frac{135 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Biogás}}{0.45 \text{ Kg GLP}} = 300 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{mes}}$$

Cantidad de electricidad que consume la EETE en la planta de lácteos y administrativa

la media de Enero a Junio del año 2011 es de 194,83 Kwh.

Cantidad de electricidad en m³ de biogás

$$\frac{194,83 \text{ Kwh}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{1,2 \text{ Kwh}} = 162.35 \text{ m}^3 \text{ biogás/mes}$$

Cantidad de Energía Total (C_{ET})

$$C_{ET} = 300 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}} + 162,35 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{mes}}$$

$$C_{ET} = 462,35 \frac{\text{m}^3 \text{ de biogás}}{\text{mes}}$$

Los 462,35 m³ de biogás es la cantidad necesaria para la EEET, para cubrir el 100% del consumo mensual de energía entre GLP y electricidad, pero por razones económicas y de la disponibilidad de la materia prima el biorreactor será diseñado para producir 5 m³ de Biogás/diario (150 m³ Biogás/mensual), el mismo que representa el 50 % del consumo total de GLP mensual.

3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE DOMO FIJO

Cantidad de Estiércol Requerido (CE)

Para calcular la cantidad de estiércol que se necesita producir 5 m³ diarios de biogás, se hará uso de la tabla 16, ya que los valores obtenidos a nivel de laboratorio reportaron valores similares, 0.17 Kg. de sólidos totales por 1 Kg. de estiércol fresco, y también la producción de biogás a una temperatura de 15 °C es similar a la EETE.

Tabla 16. Datos Básicos de Diseño –Biogás de Estiércol de Ganado Vacuno

1 Kg de estiércol Fresco (EF) = 0.20 Kg de sólidos totales (ST)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.8 Kg de sólidos volátiles (SV)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.3 m ³ de biogás @ (35 °C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.25 m ³ de biogás @ (30 °C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.2 m ³ de biogás @ (25 °C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.16 m ³ de biogás @ (22 °C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.10 m ³ de biogás @ (18 °C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.08 m ³ de biogás @ (15 °C y Pr. Atm.)

FUENTE: Larry J. Douglas (1979).

De la tabla 16 se tomaron dos valores que son; el primero la equivalencia de 1 Kg de estiércol fresco a sólidos totales y el segundo es el valor correspondiente a la temperatura media de la EETE que es 15 °C:

1 Kg de estiércol Fresco (EF) = 0.20 Kg de sólidos totales (ST)
1 Kg de Sólidos totales (ST) = 0.08 m ³ de biogás @ (15 °C y Pr. Atm.)

A continuación se realizó el cálculo para encontrar la cantidad necesaria de materia prima para la producción de 5 m³ diarios de biogás.

$$CE = 5 \frac{\text{m}^3 \text{Biogás}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{Kg EF}}{0.20 \text{ Kg ST}} \times \frac{1 \text{Kg ST}}{0,08 \text{m}^3 \text{Biogás}}$$

$$CE = 312 \text{ Kg EF/día}$$

Una vez determinado la cantidad de excreta, se calcula el volumen total teniendo en cuenta la dilución recomendada 1:1, (estiércol más agua) y asumiendo que 1 Kg de EF = 1 Lt EF, entonces se tiene:

$$\text{Carga diaria (CD)} = CE + \text{Agu} = 312 \frac{\text{Kg EF}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ Lt}}{1 \text{ Kg}} + 312 \frac{\text{Lt}}{\text{día}}$$

$$CD = 624 \frac{\text{Lt de mezcla}}{\text{día}}$$

$$CD = 0.624 \frac{\text{m}^3 \text{ de mezcla}}{\text{día}}$$

El cálculo se ha hecho sobre la base de la recogida del estiércol sin vehiculación hídrica. En los casos en que la limpieza del establo sea con mangueras, se procurará que el agua en la mezcla no exceda la proporción recomendada.

Comprobación del uso de la tabla 16:

Para esta comprobación utilizamos los datos de la cantidad de estiércol y agua en el biorreactor a escala que fue de 1.7 Kg. y 1.7 L de agua con una producción de biogás de 45 L de biogás.

$$3.4 \frac{\text{Kg. mezcla}}{\text{L}} \longrightarrow 45\text{L}$$

$$624 \frac{\text{Kg. mezcla}}{\text{L}} \longrightarrow X = 8.258 \text{ L biogás a una temperatura de } 25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Esta cantidad de biogás la dividimos para el tiempo de retención 35 días el mismo que fue el necesario para la estabilización de la producción de biogás.

$$8.258\text{L}/35 \text{ días} = 235.9 \text{ L/día}$$

$$0.24 \text{ m}^3/\text{día}$$

Este valor de biogás se encuentra en el rango indicado en la tabla 16 a la temperatura de 25°C a 30 °C. Por lo tanto los datos seleccionados anteriormente son los correctos para iniciar con el dimensionamiento del biorreactor.

Volumen del tanque biorreactor (V_t)

Mediante la experimentación realizada con los biorreactores tipo batch determinamos el tiempo de retención, el cual será de 35 días de operación. Ya que a partir de este día la producción de biogás y temperatura se estabilizaron, este mismo periodo de tiempo será considerado para los cálculos de diseño.

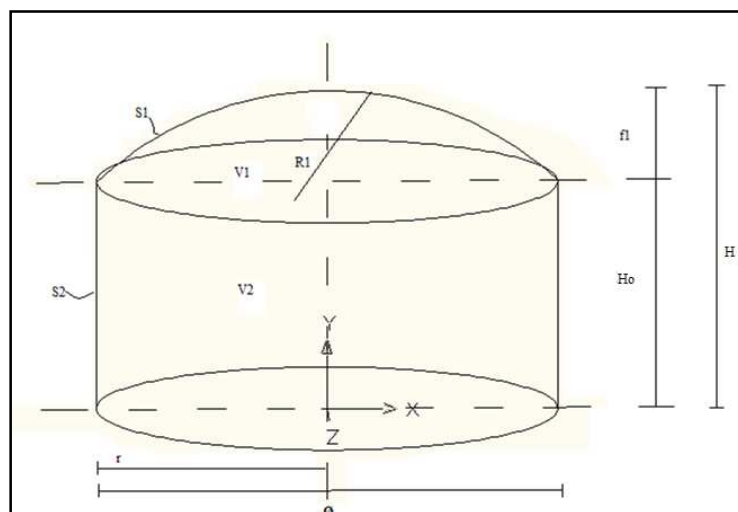
Volumen total será:

$$V_t = CD * TR$$

$$V_t = 0,624 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 35 \text{ días}$$

$$V_t = 22 \text{ m}^3$$

Figura 31: Diseño del Tanque Biorreactor



FUENTE: AUTORES

Diámetro del biorreactor (\emptyset)

Conociendo el volumen calculamos la profundidad del pozo (tipo vertical) considerando que se trata de un digestor cilíndrico vertical de diámetro (\emptyset) igual a la profundidad (H).

$$\emptyset = H$$

Dónde:

$$V_b = \frac{\pi \emptyset^2}{4} \times H$$

Dónde:

V_b = volumen del biorreactor.

Reemplazando H por \emptyset

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}}$$

Reemplazando por sus valores

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{22m^3 \times 4}{3.1416}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{28.03}$$

$$\emptyset = 3 \text{ m}$$

Altura del biorreactor (H)

Como la relación de altura del pozo no necesariamente es de 1 a 1, hacemos el cálculo de la profundidad del pozo para este mismo digestor de 22 m³ de volumen, si calculamos un diámetro de 3 m.

Aplicando:

$$V_b = \frac{\pi \varnothing^2}{4} \times H$$
$$V_b = \frac{\pi \times (3 \text{ m})^2}{4} \times H$$

Despejamos:

H = altura

$$H = \frac{V \times 4}{\pi \times \varnothing^2}$$

Reemplazamos:

$$H = \frac{22\text{m}^3 \times 4}{3,1416 \times (3 \text{ m})^2}$$

$$H = 3,10 \text{ m}$$

Dejando un borde libre de 20 cm, la altura total será:

H_b= altura total del biorreactor

$$H_b = H + 0,20\text{m}$$

$$H_b = 3,10\text{m} + 0,20\text{m}$$

$$H_b = 3,30\text{m}$$

Teniendo las dimensiones del biorreactor que serían:

$$\varnothing = 3 \text{ m}$$

$$H_b = 3.30 \text{ m}$$

Cálculos de curvatura de la cúpula:

Cúpula superior (f_1)

$$f_1 = \frac{1}{5} \varnothing$$

$$f_1 = \frac{1}{5} \times 3 \text{ m}$$

$$f_1 = 0.6 \text{ m.}$$

Radio del biorreactor (r):

V_b = volumen del biorreactor.

H_b = altura del biorreactor.

$$r = \sqrt{\frac{V_b}{\pi * H_b}}$$

$$r = \sqrt{\frac{22\text{m}^3}{3.142 * 3.3\text{m}}}$$

$$r = 1,50\text{m}$$

Radio de la curvatura de la esfera superior (R_1):

$$R_1 = \frac{(r)^2 + (f_1)^2}{2f_1} = \frac{(1.51)^2 + (0,6m)^2}{2(0,6m)}$$

$$R_1 = \frac{2,28m^2 + 0,36m^2}{1.2m}$$

$$R_1 = 2,20$$

Volumen de la cúpula (V_1):

Donde:

$a= 3$ constante.

$$V_1 = \pi(f_1)^2 \left(R_1 - \frac{f_1}{a} \right)$$

$$V_1 = 3.142 * 0,36m \left(2,20m - \frac{0,60m}{3} \right)$$

$$V_1 = 2,26 \text{ m}^3$$

Volumen del cilindro (V_2):

$$V_2 = \pi r^2 H_b$$

$$V_2 = 3.142(1.50)^2 3.30$$

$$V_2 = 23.6 \text{ m}^3$$

Volumen final del biorreactor (V_{fb}):

$$V_{fb} = V_1 + V_2$$

$$V_{fb} = (2,26 + 23,6) \text{ m}^3$$

$$V_{fb} = 25,8 \text{ m}^3$$

$$V_{fb} = 26 \text{ m}^3$$

Cálculamos la superficie estructural (S):

$$S_1 = 2\pi R_1 f_1$$

$$S_1 = 2 * 3.142 * 2,20\text{m} * 0,6 \text{ m}$$

$$S_1 = 8,30 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 2\pi * r * H_b$$

$$S_2 = 2 * 3.142 * 1.51\text{m} * 3,30\text{m}$$

$$S_2 = 31.31 \text{ m}^2$$

$$S = S_1 + S_2$$

$$S = (8,30 + 31,31) \text{ m}^2$$

$$S = 40 \text{ m}^2$$

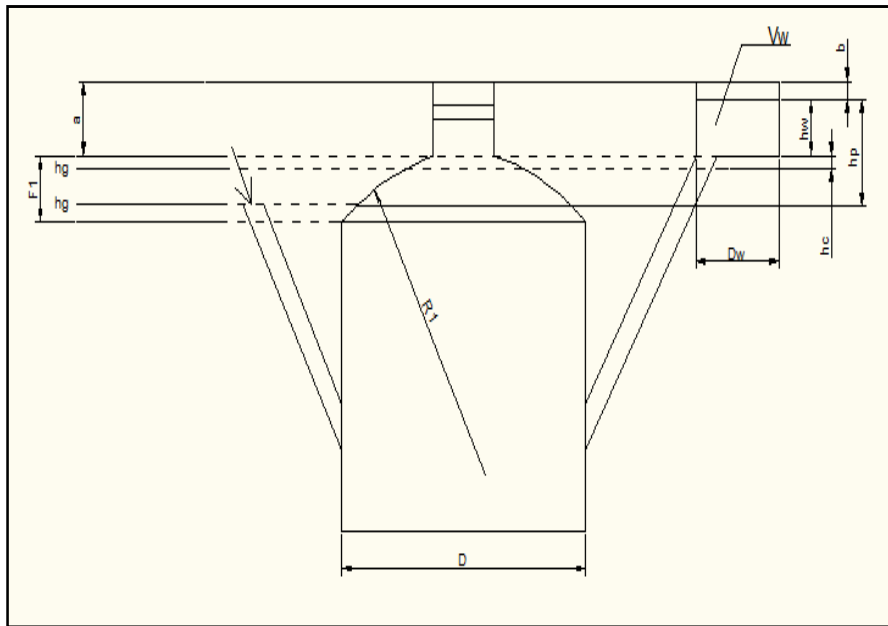
Cálculo del la cámara de salida del biorreactor:

$$K: 0,19 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$K_G: (0.40 - 0.60)$$

P_{\min} : La presión mínima de gas: = 0,5 kpa (líquido diferencia $H_G = 50 \text{ mm}$). Según el autor (Xie Zuqui, Manual Chino).

Figura 32: Diseño cámara de entrada y salida



FUENTE: AUTORES

Considerando que el Volumen del espacio de protección V_0 y V_G espacio de almacenamiento:

$$V_0 = 5\%V_1$$

$$V_0 = 0.05 * 2,26\text{m}^3$$

$$V_0 = 0,11 \text{ m}^3$$

$$V_G = V_{\text{max}} * K * K_G$$

$$V_G = 26\text{m}^3 * 0,19 * 0,45$$

$$V_G = 2,20\text{m}^3$$

La altura de V_O y $V_O + V_G$

$$\mathbf{h_0} = R_1 \left\{ 1 + 2\cos \left[\frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{3V_0}{2\pi R_1^3} \right) + 240^\circ \right] \right\}$$

$$\mathbf{h_0} = 2,20\text{m} \left\{ 1 + 2\cos \left[\frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{0,33\text{m}^3}{66,86\text{m}^3} \right) + 240^\circ \right] \right\}$$

$$\mathbf{h_0} = 0,18\text{m}$$

$$(\mathbf{h_0} + \mathbf{h_G}) = R_1 \left\{ 1 + 2\cos \left[\frac{1}{3} \arccos \left(1 - 1,5 \frac{V_0 + V_G}{\pi R_1^3} \right) + 240^\circ \right] \right\}$$

$$(\mathbf{h_0} + \mathbf{h_G}) = 2,20\text{m} \left\{ 1 + 2\cos \left[\frac{1}{3} \arccos \left(1 - 1,5 \frac{0,32\text{m}^3}{33,43\text{m}^3} \right) + 240^\circ \right] \right\}$$

$$(\mathbf{h_0} + \mathbf{h_G}) = 0,25\text{m}$$

Con base en el resultado anterior, obtenemos

$$\mathbf{h_G} = f_1 - h_0$$

$$\mathbf{h_G} = 0,60\text{m} - 0,42$$

$$\mathbf{h_G} = 0,18\text{m}$$

Dónde: $h_c = h_0$

$$\mathbf{h_c} = h_0 = 0,13\text{m}$$

$$\mathbf{h_G} = H_G = 0,42\text{m}$$

$$\mathbf{h_p} = h_0 + h_G + a$$

$$\mathbf{h_p} = 0,13\text{m} + 0,42\text{m} + 0,50\text{m}$$

$$\mathbf{h_p} = 1\text{m.}$$

De $h_p = h_G + h_c + h_w$, el aumento de nivel de líquido en la cámara de salida es

$$h_w = h_p + h_c - h_G$$

$$h_w = 1\text{m} - 0,13\text{m} - 0,42\text{m}$$

$$h_w = 0,45$$

De $V_w = V_G$, tenemos el diámetro de la cámara de salida como

$$D_w = \left[\frac{4V_G}{\pi h_w} \right]^{1/2}$$

$$D_w = \left[\frac{4(2,20\text{m}^3)}{\pi(0,45\text{m})} \right]^{1/2}$$

$$D_w = 2,40\text{m}$$

El diámetro de la cámara de salida es de 2,40m

Cuadro 33: Resumen de los Parámetros Físicos del Biorreactor

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del tanque	V_t	22	m^3
Diámetro	\emptyset	3	m
Altura	H_b	3.30	m
Curvatura de la cúpula	f1	0,6	M
Radio	r	1,50	m
Radio curvatura esfera superior	R_1	2,20	m
Volumen de la cúpula	V_1	2.26	m^3
Volumen del cilindro	V_2	23.6	m^3
Volumen final	V_{fb}	26	m^3

Superficie estructural	S	40	m ²
Diámetro cámara de salida	D _w	2,40	m
Altura cámara de salida	a	0.45	m

FUENTE: AUTORES

El cual se estima producirá 5m³ de biogás diarios, distribuidos por una red de tuberías en los alrededores de la estación experimental en donde sea necesaria la utilización del biogás. (PLANOS)

Cuadro 34: Análisis de Precios para la Construcción del Biorreactor.

PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN DEL BIORREACTOR DE DOMO FIJO					
PROYECTO: TANQUE DE BIOGAS					
FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2011					
EMPRESA: HIDROSTRUCT-A					
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
01	Limpieza y desbroce	M2	50,00	0,95	47,47
02	Replanteo y nivelacion	M2	40,00	4,50	180,14
03	Excavación	M3	157,61	3,10	488,89
04	Encofrado de pared	M2	43,79	5,97	261,44
05	Encofrado de cúpula	M2	16,87	5,97	100,77
06	Acero de refuerzo	KG	98,21	3,15	309,83
07	Malla electrosoldada	KG	60,66	3,64	220,68
08	Hormigón simple f'c= 210 Kg/cm2	M3	11,92	81,77	974,69
09	Empedrado base	M2	5,42	9,59	51,96
10	Enlucido pared	M2	60,66	9,56	580,09
11	Relleno	M3	29,15	2,17	63,16
12	Provisión ,colocación de tuberia PVC de 1/2"	ML	50,52	2,63	132,76
					\$ 3411,86

FUENTE: HIDROSTRUCT-A

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Se determinó la calidad del estiércol pre-tratamiento el mismo que no es adecuado para poder usarlo directamente como bioabono en el suelo ya que los valores reportados determinan una alta carga orgánica y bacteriana la cual ocasiona un riesgo biológico por su mala disposición final y su uso inadecuado en las plantaciones agrícolas aledañas al sector.
2. Las excretas post-fermentación reportan datos de laboratorio exitosos para poder utilizarlos directamente al suelo como abonos orgánicos, su contenido de Nitrógeno para el biosol y biól fueron de 1,9 y 1,7 %. Fósforo para el biosol y biól fueron del 0,39 y 0.38%. Potasio para el biosol y biól fueron 0.03 y 0.01 %.
3. Mediante el experimento a escala con los biorreactores batch 1 y 2 se determinaron las cantidades de biogás que generaron los 3,4 Kg, con un tiempo de retención de 40 días a una temperatura de 35 °C, los volúmenes de biogás obtenido fueron para el biorreactor 1 fue de 44.98 L y para el biorreactor 2 fue de 42.70 L.
4. Los análisis post-tratamiento del proceso fermentativo presentan una remoción de ST del 59.65%, SV 56.06%, SS 52.47%, DBO₅ de 85.34% y colifórmes

fecales de UFC del 96%, estos análisis demostraron que el proceso anaeróbico dentro de los biorreactores fue exitoso debido a la disminución de la carga orgánica y bacteriana, así como la producción de biogás.

5. La elección del modelo del biorreactor se determinó mediante la utilización de una matriz de decisión, siendo seleccionado el biorreactor de domo fijo o tipo chino, el cual se adapta a las condiciones que requiere la EETE, los cálculos estructurales fueron realizados por medio de fórmulas establecidas para este tipo de diseño, los cuales nos dieron como resultados que obtendremos un biorreactor con capacidad de 26 m^3 .

6. El dibujo de los planos estructurales del biorreactor se encuentra debidamente dimensionado y acotado para su posterior construcción, así como también la distribución de la red de tuberías para la conducción del biogás. Las dimensiones del biorreactor son las siguientes, altura 3.30 (m), diámetro 3(m), volumen de almacenamiento cúpula $4(\text{m}^3)$, altura de la cúpula 0.60 (m), radio de la curvatura de la esfera superior 2.20(m), diámetro de la cámara de salida de 2.40(m) con una altura de 0.45(m).

4.2 RECOMENDACIONES

1. El biorreactor debe encontrarse cerca del suministro de la materia prima (estiércol), y una vez arrancado el proceso se debería incorporar rumen a la mezcla estiércol agua con la finalidad de acelerar el proceso de fermentación anaeróbica. Además debe estar cerca al lugar donde el efluente pueda ser almacenado.
2. Debe estar por lo menos de 10 a 15 metros de distancia de alguna fuente de agua, para evitar alguna clase de contaminación.
3. El biorreactor debe encontrarse en lugar en dónde pueda recibir los rayos del sol para aprovechar la energía solar y mantener al biorreactor con una temperatura adecuada para su proceso.
4. Para mayor facilidad realizamos un modelo matemático en Excel con todas las fórmulas matemáticas y ecuaciones utilizadas para el modelo Chino.

CAPÍTULO V

RESUMEN

Diseñar un biorreactor para la posterior obtención y conducción de biogás, como energía renovable, a partir del estiércol de ganado vacuno en la Estación Experimental Tunshi- Espoch, con el fin de reducir el impacto ambiental que generan las emisiones de gas metano a la atmósfera y la sobre-acumulación de materia orgánica.

Se determinó la cantidad total estiércol y tiempo de estabulación de lñas unidades bovinas adultas , además se constato la cantidad de biogás generado a nivel de laboratorio con la utilización de dos biorreactores tipo batch. La utilización de una matriz de decisión nos permitió conocer el tipo de biorreactor que mejor se adapta a las condiciones de la estación experimental. La utilización de fórmulas, ecuaciones y cálculos de ingeniería determinaron los parámetros geométricos para el diseño del biorreactor, los cuales fueron dibujados en planos por el programa autocad.

Las dimensiones del biorreactor de domo fijo (tipo chino) son las siguientes, altura 3.30 (m), diámetro 3(m), volumen de almacenamiento de biogás de la cúpula 4(m³), altura de la cúpula 0.60(m), radio de la curvatura de la esfera superior 2.20(m) y un volumen total de 26 m³. El cual se estima producirá 5m³ de biogás diarios, distribuidos por una red de tuberías en los alrededores de la estación experimental.

Con la investigación realizada se pretende proveer de información sobre nuevas energías alternativas, para una posible aplicación y con ello disminuir el impacto ambiental que producen los combustibles fósiles.

SUMMARY

A bioreactor was designed for the further obtainment and conduction of biogas, as a renewable energy from cattle manure at the Tunshi-Epoch Experimental Station to reduce the environmental impact generated by the methane gas emissions to the atmosphere and over accumulation of organic matter in such a station. The manure amount the average housing time of the adult bovine units were determined, moreover the biogas quantity generated at a lab level was assessed through the use of two batch-type bioreactors. The decision matrix use permitted to know about the bioreactor type which is the most suitable for the experimental station conditions.

The use of formulae, equations and engineering calculi determined the geometrical parameters for the bioreactor design which were drawn in planes by the autocad program. The fixed-dome bioreactor dimensions (Chinese type) are the following: 3.30(m) height, 3(m) diameter, 4(m³) dome biogas storage volume and 26 (m³) total volume. It is considered that the bioreactor will produce 5(m³) daily biogas distributed through piping in the experimental station surroundings. With the investigation information is provided on new alternative energy for a possible application so as to diminish the environmental impact produced by the fossil fuels.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ESPOCH ESTACIÓN METEOROLÓGICA. Hoja de Registro Agrometeorológicos. Riobamba-Ecuador, Facultad de Recursos Naturales, 2011. Registro Enero-Julio.
- (2) BIOMASA
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/ usos>
(2005-02-12)
- (3) VENTAJAS AMBIENTALES DE LA BIOMASA
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/ usos>
(2005-12-02)
- (4) BIORREACTORES CLASIFICACIÓN
<http://bioreactores.wordpress.com/2008/07/16/clasificacion-de-bioreactores/>
(2008-07-15)
- (5) BIORREACTORES
<http://e-ciencia.com/recursos/enciclopedia/Bioreactor>
(2007-11-22)
- (6) TECNOLOGÍA EMPLEADA EN LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y CLASIFICACIÓN DE LOS BIODIGESTORES
<http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf>
(2010-05-21)

- (7) BIORREACTOR DEL DOMO FLOTANTE (INDIA)
http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
(2010-03-13)
- (8) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIORREACTOR DEL DOMO FLOTANTE (INDIA)
www.solucionespracticas.org.pe
(2011-04-23)
- (9) BIORREACTOR DE DOMO FIJO (CHINA)
http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
(2010-03-13)
- (10) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIORREACTOR DE DOMO FIJO (CHINA)
<http://biodigestoreseconomicos.blogspot.com/2009/02/tipos-de-biodigestores-mas-utilizados.html>
(2009-02-23)
- (11) BIORREACTOR DE BOLSA ELÁSTICA TIPO BALÓN
http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/8bib_arch.pdf
(2007-03-28)
- (12) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIORREACTOR DE BOLSA ELÁSTICA TIPO BALÓN
<http://biodigestoreseconomicos.blogspot.com/2009/02/tipos-de-biodigestores-mas-utilizados.html>
(2009-02-23)

- (13) MODELOS DE DIGESTORES ANAERÓBICOS SENCILLOS
<http://www.ecovida.pinar.cu/energia/Documentos/Publicaciones/Diseno%20y%20construccion%20de%20plantas%20de%20biogas.pdf>
(2010-03-16)
- (14) DISEÑOS DE BIORREACTORES DE CÚPULA FIJA
http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
(2010-03-15)
- (15) BIORREACTORES DE ALTA VELOCIDAD O FLUJO INDUCIDO
http://biodigestoresmjhr.blogspot.com/2009/12/otros-tipos-de-biodigestores_5357.html
(2009-12-02)
- (16) REQUISITOS NECESARIOS PARA INICIAR EL PROCESO DE DIGESTIÓN
<http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>
(2005-11-27)
- (17) ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA
<http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>
(2005-11-27)
- (18) FASE DE HIDRÓLISIS
<http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>
(2005-11-27)

- (19) REACCIONES HIDRÓLISIS
http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
(2010-03-01)
- (20) FASE DE ACIDIFICACIÓN
<http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>
(2005-11-27)
- (21) FASE ACETOGÉNICA
http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
(2010-03-01)
- (22) FASE METANOGÉNICA
<http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>
(2005-11-27)
- (23) FASE METANOGÉNICA
<http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf>
(2003-05-18)
- (24) BENZING, A. Agricultura orgánica fundamentos para la región andina.
Alemania, Neckar, 2001. pp 256-265
- (25) METANO
http://www.telefonica.net/web2/jgarciaf/cambio_climatico/Geosfera_Biosfera/metano.htm
(2009-02-19)

- (26) FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-02-12)
- (27) TIPO DE MATERIA PRIMA
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (28) TEMPERATURA DEL SUSTRATO
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (29) VELOCIDAD DE CARGA VOLUMÉTRICA
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (30) TIEMPOS DE RETENCIÓN
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (31) VALOR DE ACIDEZ (PH)
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (32) CONTENIDO DE SÓLIDOS
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>
(2005-02-12)
- (33) ZUQUILANDA, M. Agricultura orgánica alternativa tecnológica del futuro.
Quito-Ecuador, UPS, 1996. pp. 105, 106, 107, 259, 260, 240, 241, 243, 244,
247.

- (34) INCLUSIÓN DE INOCULANTES
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (35) AGITACIÓN Y MEZCLADO
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>
(2005 -02-12)
- (36) INHIBIDORES
<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
(2005-12-02)
- (37) USO DEL BIOGAS
<http://www.textoscientificos.com/imagenes/solar/usos-biogas.gif>
(2005-02-12)
- (38) BIOSOL
http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Ferm%20entacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
(2008-12-1)
- (39) GUARDADO, J. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.
La Habana-Cuba., Cubasolar, 2007. pp. 25-31.
- (40) ACUÑA, M. Dimensionamiento del digester modelo chino. Quito-Ecuador, INE, 2001. pp. 3-6.
- (41) XIANMING, L. Rural household biogas digester in china. Chengdu-China., ASIA PACIFIC BIOGAS, 2008. pp. 1-12.

ANEXOS

ANEXO 1: ESTABLO ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI-ESPOCH.



ANEXO 2: ESTABLO CON LAS CINCO VACAS SELECCIONADAS PARA EL EXPERIMENTO.



**ANEXO 3: DETERMINACIÓN DE LA CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL,
MATERIALES Y EQUIPOS.**



Materiales utilizados



Recolección de estiércol



Peso del estiércol recolectado

ANEXO 4: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS. (ESTIÉRCOL)



Recolección de estiércol en fundas estériles



Fundas estériles con muestras (estiércol)

Recipientes estériles con muestras (estiércol)

ANEXO 5: RESULTADOS N, P, K. ESTIERCOL PRE-TRATAMIENTO



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
LABORATORIO DE SUELOS**

Nombre del remitente: Sebastián Lara

Fecha de ingreso: 11/05/2011

Ubicación de la muestra: Facultad de Ciencias Pecuarias

Fecha de salida : 25/05/2011

Nombre del sector Parroquia

Riobamba
Cantón

Chimborazo
Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACION DEL ANALISIS QUIMICO DE ABONO ORGANICO

Identificación	Elementos totales (%)						
	N	P	K	% H	% M.O	C.Org	R: C/N
Abono de vaca	1.3	1.0	2.1	88.0	12.0	32	25:1

Ing. Mario E. Orate A.

DIRECTOR DPTO SUELOS

Ing. Elizabeth Pachacama Ch.

TECNICO DE LABORATORIO

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 1/4, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
LABORATORIO DE SUELOS

Nombre del remitente: Sebastián Lara

Fecha de ingreso: 23/06/2011

Ubicación de la muestra: Zootecnia

Licán

Riobamba

Chimborazo

Nombre del sector

Parroquia

Cantón

Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACION DEL ANALISIS QUIMICO DE BIOLES

Identificación	% Elementos totales				% M.O	% C. Orgánico	R: C/N
	N	P	K				
1 Biol vaca	1.7	0.38	0.01		9.4	22	13:1
2 Biol sol vaca	1.9	0.39	0.03		13.8	26	14:1

Ing. Mario E. Ojate A.

DIRECTOR DPTO SUELOS

Ing. Elizabeth Pachacama Ch.

TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO 7: RESULTADOS AEROBIOS MESOFILOS ESTIERCOL PRE-TRATAMIENTO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
RIOBAMBA – ECUADOR
DIRECCIÓN: Panamericana Sur Km 1 ½ Telefax 032605910

DATOS INFORMATIVOS

SOLICITANTE: Belén Hidalgo
MUESTRA: Estiércol de ganado

RESULTADOS:

El análisis de aerobios mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre.

Aerobios Mesófilos: 6×10^6 UFC/ml

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2% de Bilis Verde Brillante y confirmación en medio sólido.

Coliformes totales: 3×10^4 UFC/ml

UFC: unidad formadora de colonia

CONCLUSIONES:

- El valor de la población de aerobios mesófilos y coliformes totales se encuentran en niveles altos.

Atentamente,

x 
Dra. Marcia Pesántez
ANALISTA

ANEXO 8: RESULTADOS AEROBIOS MESOFILOS ESTIÉRCOL POST-TRATAMIENTO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
RIOBAMBA – ECUADOR
DIRECCIÓN: Panamericana Sur Km 1 ½ Telefax 032605910

DATOS INFORMATIVOS

SOLICITANTE: Belén Hidalgo
MUESTRA: Torta de Biodigestor

RESULTADOS:

El análisis de aerobios mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre.

Aerobios Mesófilos: 1.9×10^6 UFC/ml

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2% de Bilis Verde Brillante y confirmación en medio sólido.

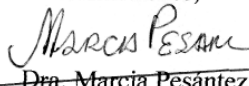
Coliformes totales: 1.2×10^3 UFC/ml

UFC: unidad formadora de colonia

CONCLUSIONES:

- El valor de la población de aerobios mesófilos y coliformes totales se encuentran en niveles altos.

Atentamente,



Dra. Marcía Pesántez
ANALISTA





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
RIOBAMBA – ECUADOR
DIRECCIÓN: Panamericana Sur Km 1 ½ Telefax 032605910

DATOS INFORMATIVOS

SOLICITANTE: Belén Hidalgo
MUESTRA: Dilución de salida de Biodigestor

RESULTADOS:

El análisis de aerobios mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre.

Aerobios Mesófilos: 1.7×10^6 UFC/ml

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2% de Bilis Verde Brillante y confirmación en medio sólido.

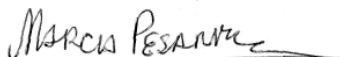
Coliformes totales: 1.5×10^3 UFC/ml

UFC: unidad formadora de colonia

CONCLUSIONES:

- El valor de la población de aerobios mesófilos y coliformes totales se encuentran en niveles altos.

Atentamente,


Dra. Marcía Pesántez
ANALISTA



ANEXO 9: RESULTADOS COLIFORMES TOTALES ESTIÉRCOL PRE-TRATAMIENTO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
RIOBAMBA – ECUADOR
DIRECCIÓN: Panamericana Sur Km 1 ½ Telefax 032605910

DATOS INFORMATIVOS

SOLICITANTE: Belén Hidalgo

MUESTRA: Estiércol de ganado

RESULTADOS:

El análisis de aerobios mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre.

Aerobios Mesófilos: 6×10^6 UFC/ml

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2% de Bilis Verde Brillante y confirmación en medio sólido.

Coliformes totales: 3×10^4 UFC/ml

UFC: unidad formadora de colonia

CONCLUSIONES:

- El valor de la población de aerobios mesófilos y coliformes totales se encuentran en niveles altos.

Atentamente,

x 
Dra. Marcia Pesántez
ANALISTA

ANEXO 10: RESULTADOS COLIFORMES TOTALES ESTIÉRCOL POST-TRATAMIENTO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
RIOBAMBA – ECUADOR
DIRECCIÓN: Panamericana Sur Km 1 ½ Telefax 032605910

DATOS INFORMATIVOS

SOLICITANTE: Belén Hidalgo
MUESTRA: Torta de Biodigestor

RESULTADOS:

El análisis de aerobios mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre.

Aerobios Mesófilos: 1.9×10^6 UFC/ml

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2% de Bilis Verde Brillante y confirmación en medio sólido.

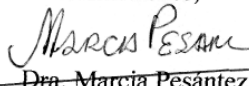
Coliformes totales: 1.2×10^3 UFC/ml

UFC: unidad formadora de colonia

CONCLUSIONES:

- El valor de la población de aerobios mesófilos y coliformes totales se encuentran en niveles altos.

Atentamente,



Dra. Marcía Pesántez
ANALISTA





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
RIOBAMBA – ECUADOR
DIRECCIÓN: Panamericana Sur Km 1 ½ Telefax 032605910

DATOS INFORMATIVOS

SOLICITANTE: Belén Hidalgo
MUESTRA: Dilución de salida de Biodigestor

RESULTADOS:

El análisis de aerobios mesófilos se realizó con la técnica de diluciones sucesivas y empleando el Método de la Placa Pobre.

Aerobios Mesófilos: 1.7×10^6 UFC/ml

El análisis de Coliformes Totales se realizó con el Método de Caldo Lactosa 2% de Bilis Verde Brillante y confirmación en medio sólido.

Coliformes totales: 1.5×10^3 UFC/ml

UFC: unidad formadora de colonia

CONCLUSIONES:

- El valor de la población de aerobios mesófilos y coliformes totales se encuentran en niveles altos.

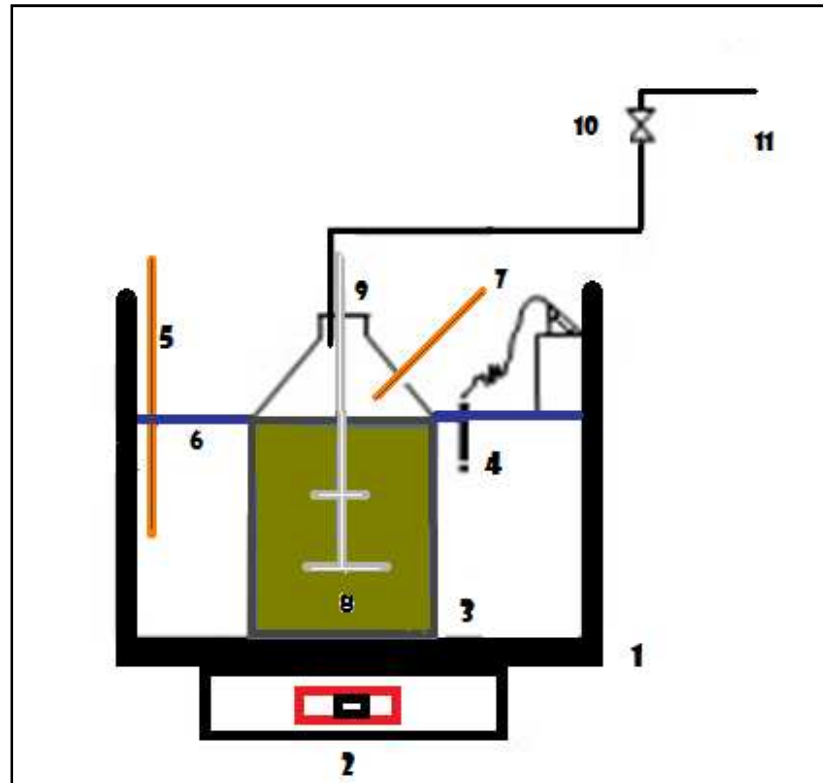
Atentamente,

Dra. Marcia Pesántez
ANALISTA



ANEXO 11: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL BIORREACTOR TIPO

BATCH



- 1.- Sistema de recubierta metálica capacidad 30 litros para mantener una temperatura de 25 °C.
- 2.- Termostato para regular la temperatura del agua en el sistema de recubierta metálica.
- 3.- Envase pírrex biodigestor de 5000ml de volumen útil.
- 4.- Calentador de agua para acuarios.
- 5.- Termómetro del sistema de recubierta metálica.
- 6.- Volumen de trabajo 3400 ml.
- 7.- Termómetro interno del biodigestor.
- 8.- Mezcla estiércol bobino y agua, relación 1:1.
- 9.- Agitador mecánico.
- 10.- Válvula de paso para el gas.
- 11.- Probeta 250 y 500 ml para la medición del biogás generado.

ANEXO 12: MATERIALES DEL BIORREACTORES TIPO BATCH.



Biorreactores tipo Batch 5 L y probetas de 250 mL.



Tapas de los biorreactores 1 y 2: incluyen termómetros y agitador mecánico.

ANEXO 13: MEZCLA ESTIÉRCOL Y AGUA, RELACIÓN 1:1.



Biorreactor con 1700 g. estiércol.



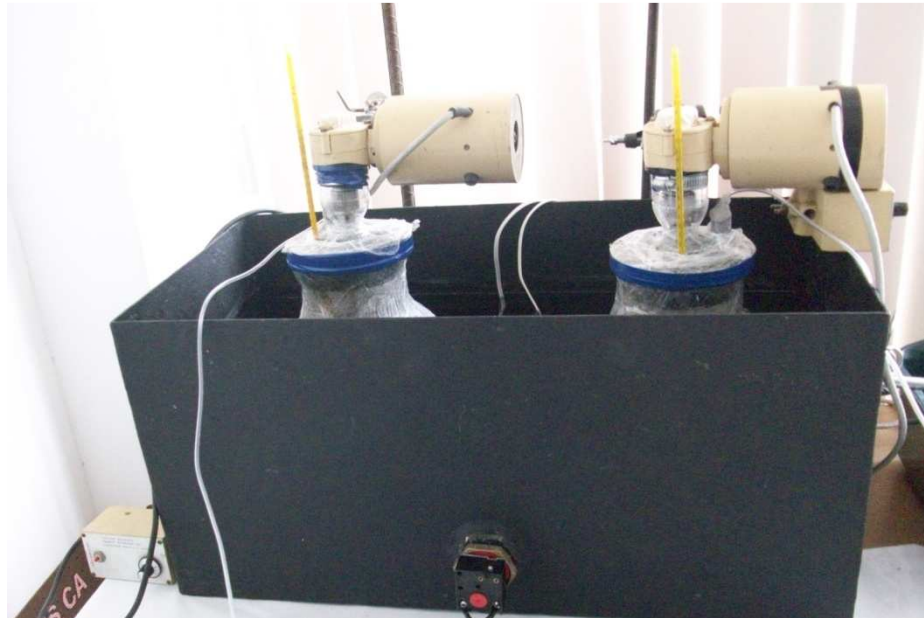
Biorreactores 1 y 2: mezcla de agua 1700g de estiércol y 1.7 litros de agua.

ANEXO 14: BIORREACTOR TAPADO HERMETICAMENTE



Biorreactor sellado

ANEXO 15: TERMOSTATO Y SISTEMA DE BIORREACTORES ANAEROBIOS Y DISPOSITIVO DE AGITACIÓN MECÁNICA.



Termostato con los biorreactores 1 y 2.



Sistema de biorreactores en el termostato.

ANEXO 16: SISTEMA COMPLETO DEL PROCESO ANAERÓBICO, BIORREACTORES, TERMOSTATO, Y PROBETA RECOLECTORA DE BIOGÁS.



Equipo instalado en el laboratorio de Energías Alternativas ESPOCH.



Biogás recolectado en la probeta

ANEXO 17: ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS FUNDAS TEDLAR



Fundas Tedlar incorporadas al sistema de biodigestión



Recolección de biogás en fundas Tedlar

**ANEXO 18: PONDERACIÓN DE LOS FACTORES A EVALUAR Y
OPERACIÓN DE LA MATRIZ (46)**

Factor evaluado	Comentarios	Ponderación
a. Tipo de materia prima (estiércol)	La materia prima disponible en la EETE es el estiércol de ganado vacuno y el biorreactor que sea elegido tendrá que operar con esta materia prima.	5
b. Vida útil	Se desea que el biorreactor posea una vida útil lo más larga posible (15-20 años).	15
c. Requerimientos de área	La EETE, al momento cuenta con una superficie extensa que permitirá que el biorreactor sea construido sin ningún problema.	5
d. Costos	Es importante considerar aquella tecnología que sea eficaz y eficiente en la producción de biogás, para poder obtener un ahorro de recursos humanos y económicos tanto en la inversión inicial, operación y mantenimiento.	20
e. Construcción	La construcción del biorreactor no debe ser compleja y tampoco debe estar en un área de difícil acceso.	15
f. Operación y mantenimiento	Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable, además de que una persona con poca capacitación pueda hacer la función de operador, y que el mantenimiento sea de lo más simple.	15
g. Rendimiento	El biorreactor que sea diseñado y posteriormente instalado tiene que producir la mayor cantidad de biogás posible.	25

<p>C= calificación 0= No aplica 1= suficiente 3= adecuado 5= Muy bueno</p>
--

FUENTE: UNAM MÉXICO

ANEXO 19: PRUEBA DE INFLAMABILIDAD DEL BIOGÁS.

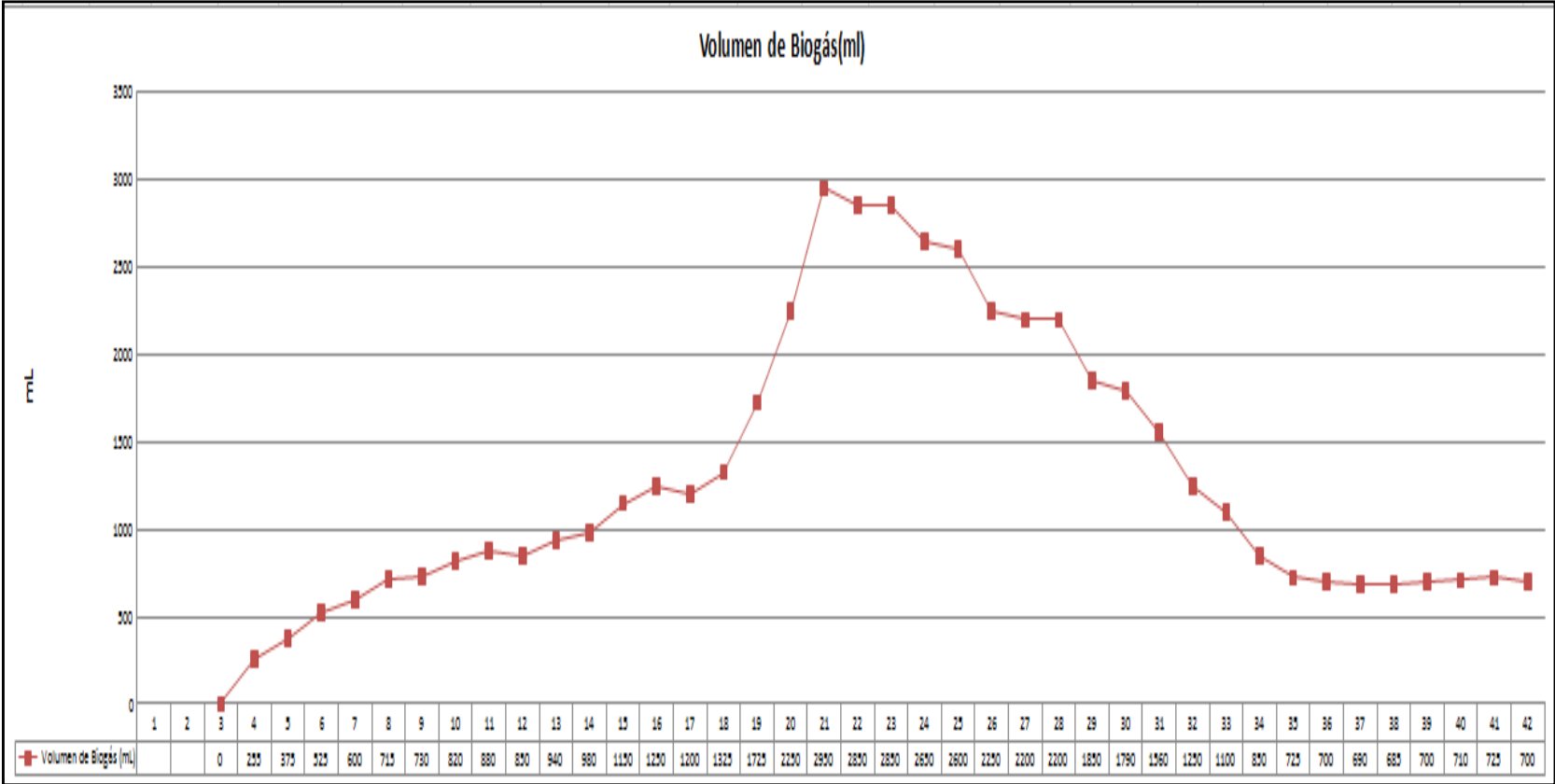


La llama indica la presencia de biogás

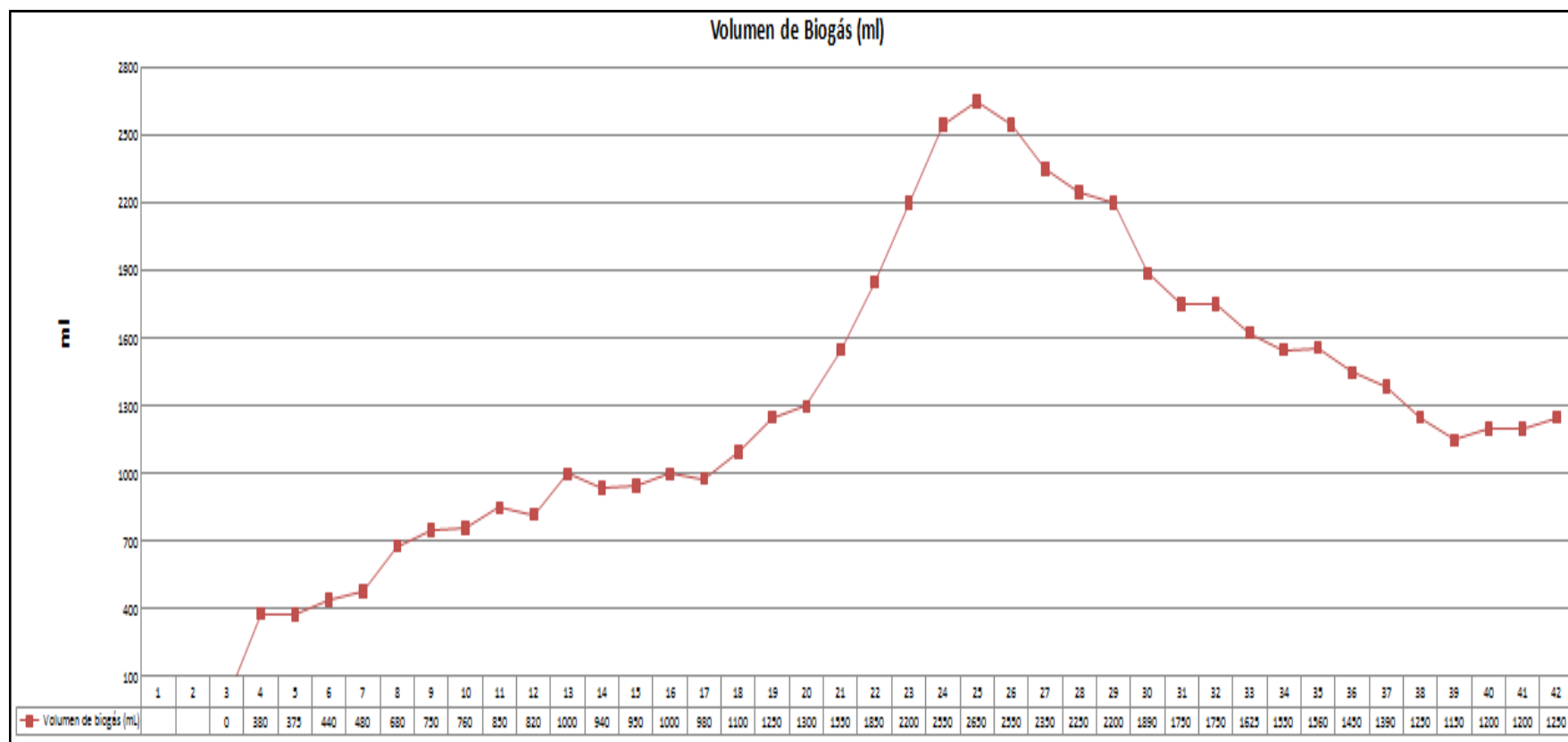


Prueba de la llama

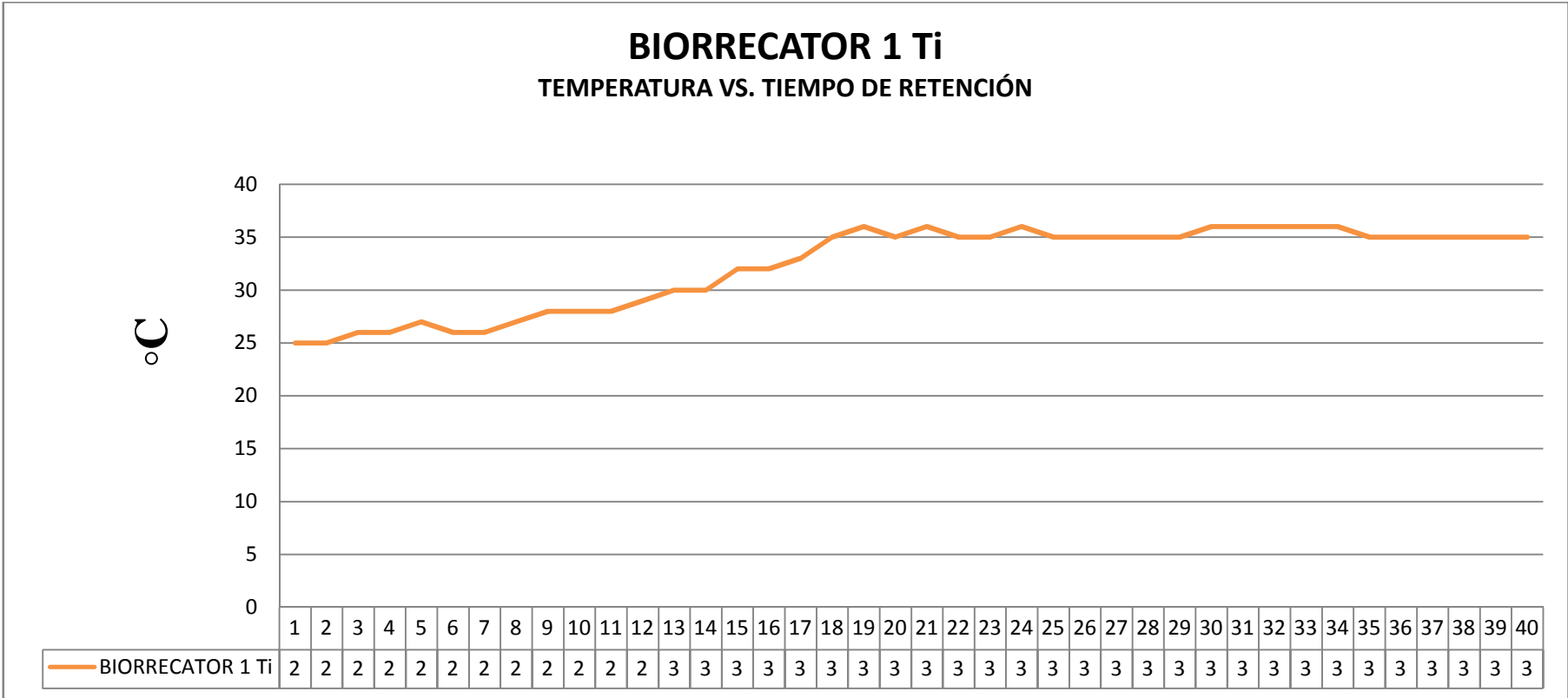
ANEXO 20: REPORTES DIARIOS DE BIOGÁS BIORREACTOR 1.



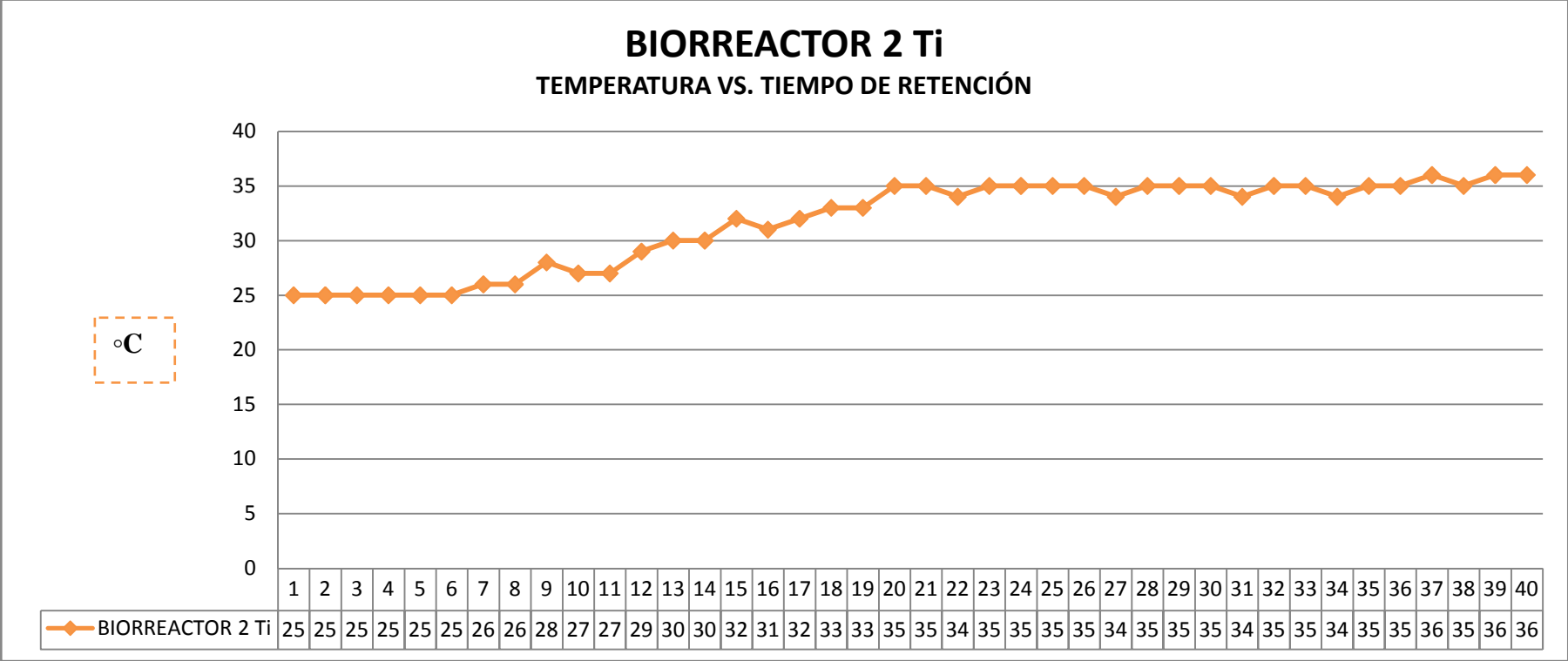
ANEXO 21: REPORTES DIARIOS DE BIOGÁS BIORREACTOR 2.



ANEXO 22: REPORTES DIARIOS DE TEMPERATURA INTERNA DEL BIORREACTOR 1.



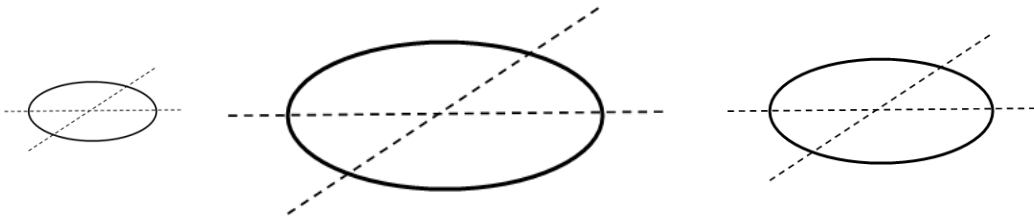
ANEXO 23: REPORTES DIARIOS DE TEMPERATURA INTERNA DEL BIORREACTOR 2.



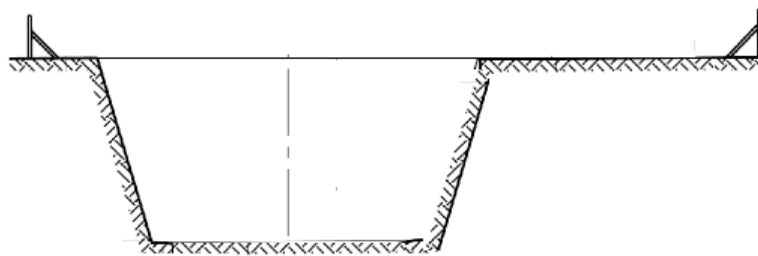
ANEXO 24: PLAN DE CONSTRUCCIÓN DEL BIORREACTOR

Con la finalidad de asegurar la calidad de construcción, disminuir el tiempo de trabajo y economizar costos, se debe establecer un plan de construcción, ordenando razonablemente una secuencia de trabajo y organizando bien el trabajo simultáneo en diferentes partes del biodigestor. Generalmente hay 8 pasos que influyen el plazo de construcción y 3 pasos que se pueden realizar al mismo tiempo. El plazo de construcción es de 12 - 15 días, como se puede apreciar en los gráficos A1 y A2.

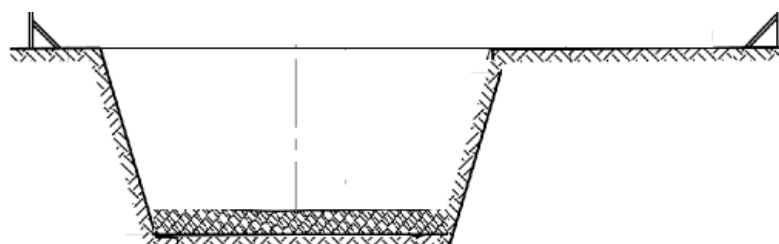
Elección del Lugar de Construcción del Biorreactor



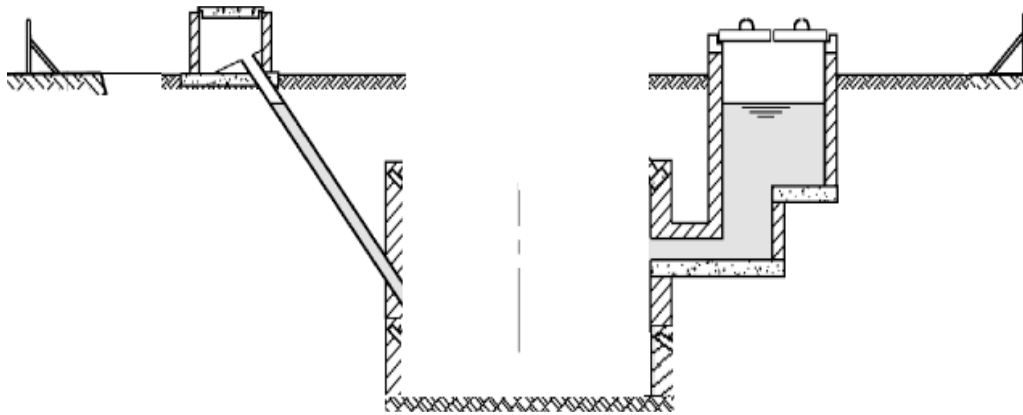
Excavación del Hoyo del Biorreactor



Construcción del Fondo de Concreto

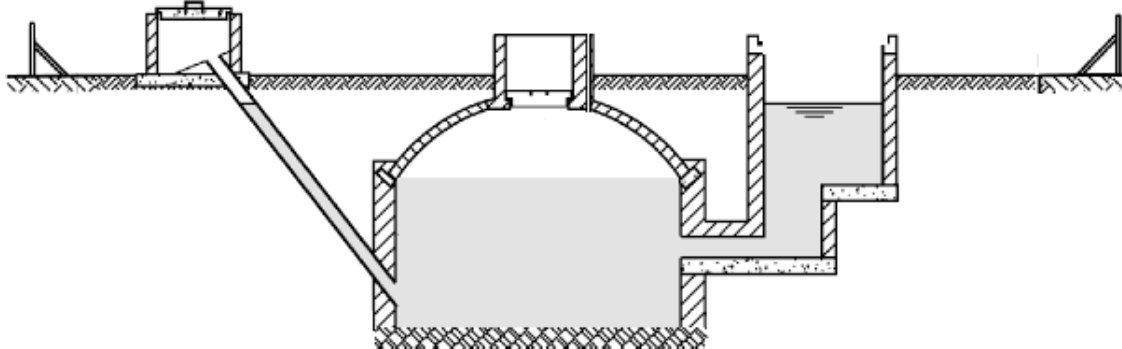


Construcción de las Paredes Laterales, Cámara de Entrada de Excretas y la Cámara de Salida de Bioabono

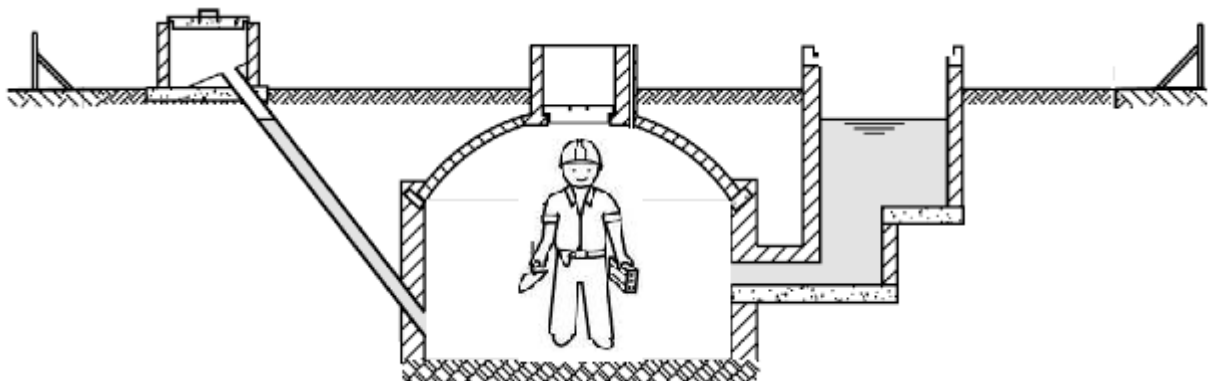


GRÁFICOS A 1 PLAN DE TRABAJO PRIMERA PARTE

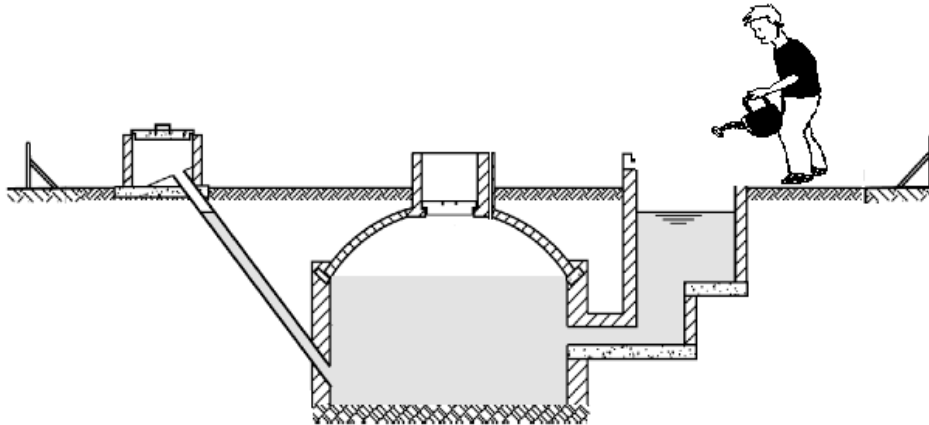
Construcción de la Cubierta



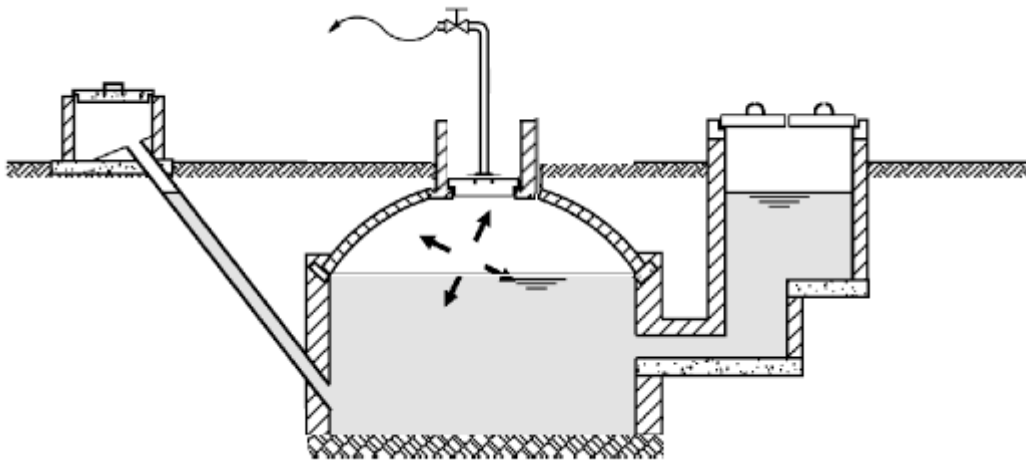
Construcción de la Capa Hermética Interior



Fraguado del Concreto Prueba con Agua



Prueba de Presión

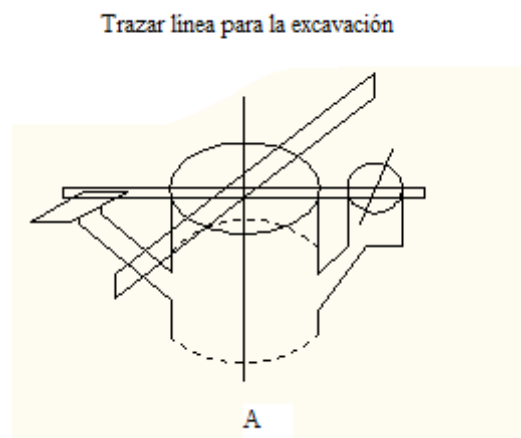


GRÁFICOS A2 PLAN DE TRABAJO SEGUNDA PARTE

ANEXO 25: PRECAUCIONES QUE SE DEBEN TOMAR EN LA CONSTRUCCIÓN

Si se dispone de una buena estructura de suelo, la pared del pozo sirve por sí misma de sostén de la pared del tanque principal porque está se pega a aquella. De esta manera ya no hace falta llenar el espacio con tierra y hace que la estructura se situé en buen estado físico.

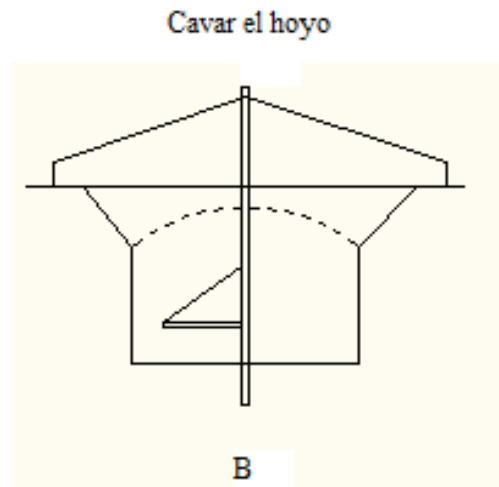
Luego de fijar el lugar de construcción, se clava cuatro estacas de madera equidistante y paralela, se cruza dos piolas y se marca el centro de la cámara de fermentación (A del gráfico K).



Se cava un hoyo redondo con el diámetro requerido y profundidad (H) que equivale a la sumatoria de: $H = a + f1 + Ho$

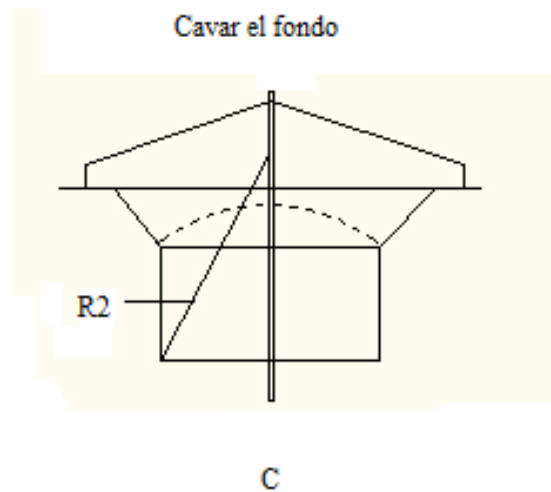
Se clava un eje guía (palo, tubo, etc.) recto en el centro del círculo y se traza marcas para indicar las medidas para la excavación. (B del grafico K)

Gráfico K.B.



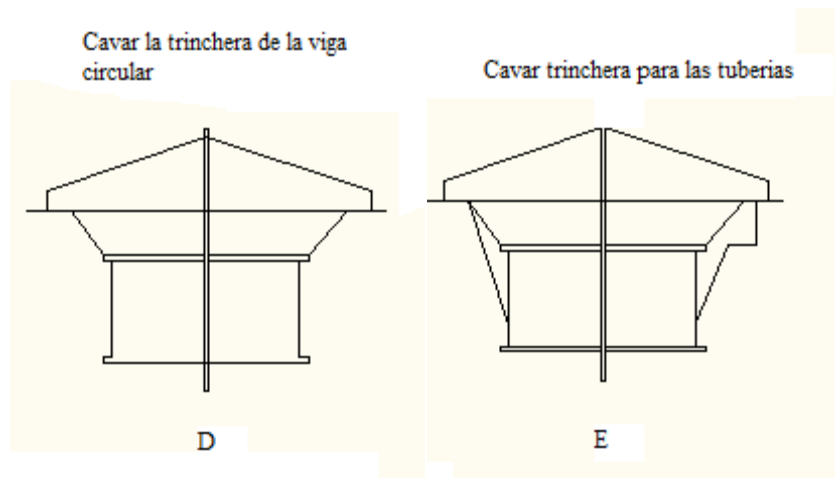
Con la medida del radio de curvatura el grosor de la pared del fondo y 2 cm del grosor de enlucido, se traza un círculo para la excavación del fondo del principal.

Gráfico K.C.



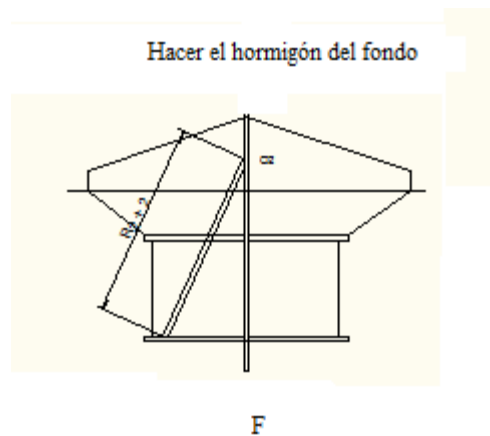
Fijar bien las dimensiones cuando se realiza la excavación de la viga circular y la trinchera Para los tubos de carga y descarga.

Gráficos K.D Y K.E



Se requiere un trabajo preciso y rápido en la excavación, apenas terminado de cavar el pozo y las trincheras, hay que empezar inmediatamente la obra de fondo. Cuando se hace el hormigón del fondo, hay que controlar las dimensiones con un palo.

Gráfico K.F.



Se procede a levantar las paredes laterales del digestor, se coloca la primera hilera de ladrillos en forma horizontal, para luego los que siguen a continuación, se ponen parados como se puede ver en los anteriores gráficos K.

En este modelo de digestor se recomienda también colocar el tubo de carga como el de descarga, mientras se levanta la pared del cilindro.

CONSTRUCCIÓN DE LA CÚPULA DEL TANQUE

- a. Examinar las medidas de la viga circular superior de acuerdo con el diseño utilizando un palo de madera como regla. Grafico L.A
- b. Rociar agua a los ladrillos de manera adecuada.
- c. Preparar estuco (mortero).
- d. Preparar cierres y piezas de soporte.
- e. Preparar dos tablas de madera (andamios).

A partir de la viga circular superior, se comienza a pegar lo ladrillos con la ayuda de la regla de madera, cuya base s fija en el centro de la base, y es lo que nos da la curvatura de la cúpula superior, ya que la longitud equivale al radio d la cúpula y al grosor del enlucido. Los ladrillos deben llevar estuco en sus dos caras, como se aprecia en el gráfico L.D, y se presiona contra las paredes de los ladrillos y colocados, dando un golpe leve, no se debe golpear repetida mente el ladrillo.

Al terminar de construir cada hilera de ladrillo de la cúpula hay que medirlo con la regla de madera (gráfico L.C.) y s llena con un estuco todas las fisuras que pueda haber. El último ladrillo de cada hilera se debe ajustar bien, a fin de aprovechar la rigidez espacial (gráfico L.E.). Cuando la cúpula va llegando a su fin, en las dos últimas hileras los ladrillos se cortan en mitad, a fin de ajustarlo a las medidas requeridas.

Una vez terminada la cúpula, se recomienda colocar en la parte externa de esta, una lechada de cemento y arena en proporción 1:6, y luego se procede: a llenar el espacio con tierra, entre la pared del tanque y la del pozo.

CONSTRUCCIÓN DE LA CAPA HERMÉTICA DEL DIGESTOR.

El hormigón y los ladrillos son materiales porosos, para que la estructura sea impermeable, hay que hacerla hermética y evitar la fuga de agua y gas, para lo cual se procede de la siguiente manera:

Tratamiento de la superficie base: la superficie de la base debe ser lisa y limpia, hay que retirar todo residuo, se debe retocarla con mortero de cemento y arena en relación 1:3 respectivamente. Se deja endurecer antes de empezar la aplicación de la capa hermética, luego se coloca paja o aserrín en la base para no estropearla, mientras se trabaja en el enlucido.

Técnica - Procedimiento: cuando se va a colocar la capa hermética, se debe tener un orden, y se empieza primero por la cúpula superior, después la pared del cilindro y por último el fondo. Se requiere emplear 7 capas de revestimiento.

Primera capa.- Revoque de cemento y agentes impermeabilizantes (cemento: agentes impermeabilizantes: agua) en relación 12.5:0.31:10. Preparación: mezclar primero el cemento con el agua, luego agregar el impermeabilizante y removerlo bien. Aplicación: se pinta la superficie usando un cepillo de pelo suave.

Segunda capa.- Pasar una lija de madera suave. Terrajeo con agentes impermeabilizantes (cemento: arena: impermeables) en relación 1:2.5:0.03. Preparación: mezclar el impermeabilizante con una cantidad adecuada de agua y removerlos bien. Agregar el cemento y la arena bien mezclada y remover otra vez. Aplicación: pintar la pared interior, apretándola con fuerza, de modo que sea fuertemente sellada. Se deja endurecer durante 24 horas. La demora en aplica esta capa no debe ser mayor a 45 minutos.

Tercera capa.- Después de 24 horas de aplicada la segunda capa. Igual que la primera, después de endurecida la capa se puede empezar la próxima aplicación.

Cuarta capa.- Igual que la segunda, con un grosor menor o igual a 5 mm. Luego de media hora se aplica la siguiente capa.

Quinta capa.- Igual que la primera, con un grosor de 5 mm., y luego media hora se aplica la siguiente.

Sexta capa.- Igual que la segunda; además, la capa pintada debe ser bien planchada, para que la superficie sea lisa, después de endurecida la capa, se puede empezar la próxima aplicación.

Séptima capa.- Terrajeo con agentes impermeabilizantes (cemento: agua, agentes impermeabilizantes) en relación 1:1:0.03. Preparación: igual que la primera capa. Aplicación: aplicar fuertemente llegando a todas partes de la pared, después de 24 horas hay que rociar las partes 'secas con agua.

El mortero preparado debe ser usado inmediatamente y no se puede usar después de 45-60 minutos. En las partes que conectan las tuberías se deben aplicar capas gruesas.

Fraguado de la capa hermética: El fraguado de la capa hermética es una tarea importantísima, para una completa hidratación del cemento, aumentar la intensidad y evitar fisuras en la superficie, se debe rociarla con agua cuando el color de la superficie se convierta en gris claro, se debe tapar la boca del tanque para mantener la humedad.

INSTALACIÓN DE LOS TUBOS DE CARGA Y DESCARGA DE MATERIALES Y DE CONDUCTOS DE GAS

Se debe usar preferiblemente tuberías de 20 - 30 cm de diámetro. Antes de instalarlos hay que cubrirlos con revestimiento, aplicando en la superficie exterior 1 - 2 veces con cemento y agentes impermeabilizantes. Antes de la instalación de la tubería, se construye una base de concreto fino (gráfico M.1) y con 3- 5 cm de grosor.

Para el ducto de salida del, gas, no se recomienda el uso de tubos de acero o de plástico, para evitar corrosión, es mejor usar una botella desusada, el proceso se explica en el gráfico M.2.

Para la conducción del gas se debe utilizar tubería de material anticorrosiva, y de bajo costo, su diámetro depende presión del gas y la distancia entre el biodigestor y el de uso del biogás.

EXAMEN DEL DIGESTOR

Antes de poner a trabajar el digestor se realiza un detallado examen de este:

1. Examen de las medidas geométricas, sobre todo. la altura de las bocas de entrada, salida y la cubierta si está de acuerdo al diseño.
2. Impermeabilidad: se llena de agua todo el tanque principal, se hace una .marca pe la altura de agua, Se tapa las "tres bocas", después: de 24 horas, examinar si el volumen ha descendido.
3. La hermeticidad del tanque de gas: tapar bien la cubierta hermética con agua: llenar el tanque principal con aire a través del gaseoducto, hasta que la presión llegue a las 1.25 - 1.5 veces lo estipulado por el diseño.

Observar durante 24 horas el cambio de la presión del digestor, no debe dejar más del 2%.

PRUEBA DE COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS

Suplemento de nuevas materias primas: en general 25 - 30 días después de la carga inicial comienza a decaer la producción de gas, entonces debe agregarse nueva material prima. Los digestores que no estén conectados con los establos deben alimentarse cada 3 - 5 días La carga suplementaria cada vez representa entre el 2- 5% de la masa total de fermentación. Es importante evacuar el efluente digerido y agregar la misma cantidad de materia prima al digestor.

**ANEXO 26: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS ESTIÉRCOL PRE
TRATAMIENTO MUESTRAS BIORREACTOR 1 Y 2.**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Belén Hidalgo y Sebastián Lara

Fecha de Análisis: 11 de mayo del 2011

Fecha de Entrega de Resultados: 16 de mayo de 2011

Tipo de muestras: Estiércol de ganado vacuno Pre tratamiento

Localidad: Estación Experimental Tunshi- ESPOCH

Código LAT/133-11

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Muestra 1	Muestra 2
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	18.0	17.9
Alcalinidad	mg/L	2320-C	400.0	389
Sólidos Totales	%	2540-B	81.8	81.5
DQO	g/L	5220-C	58	56
DBO ₅	g/L	5210-B	55	53
Sulfuros	mg/L	4500-S E	160	164
pH	Und.	4500-B	9.0	9.0

Humedad	%		81.1	
Ceniza	%		2.24	2.20
Sólidos Totales Extracto seco	%		19.9	19.5
Sólidos volátiles	% en base húmeda	2540-E	12.6	12.2
Sólidos en Suspensión	% en base húmeda	2540-D	16.4	16.0

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

**ANEXO 27: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS ESTIÉRCOL POST
TRATAMIENTO BIORREACTOR 1.**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Belén Hidalgo y Sebastián Lara.

Fecha de Análisis: 21 de junio del 2011

Fecha de Entrega de Resultados: 29 de junio de 2011

Tipo de muestras: Estiércol de Ganado (sometido a tratamiento anaerobio)

Biorreactor 1

Localidad: Estación Experimental Tunshi- Epoch

Código LAT/160-11

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	7.33
DBO ₅	g/L	5210-B	7.5
Sólidos Suspensión	%	2540-D	7.9
Sólidos Totales	%	2540-B	8.2
Sólidos volátiles	%	2540-E	5.7

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



**ANEXO 28: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS ESTIÉRCOL POST
TRATAMIENTO BIORREACTOR 2.**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Belén Hidalgo y Sebastián Lara.

Fecha de Análisis: 21 de junio del 2011

Fecha de Entrega de Resultados: 29 de junio de 2011

Tipo de muestras: Estiércol de Ganado (sometido a tratamiento anaerobio)

Biorreactor 2

Localidad: Estación Experimental Tunshi- Espoch

Código LAT/160-11

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	7.1
DBO ₅	g/L	5210-B	8.3
Sólidos Suspensión	%	2540-D	7.5
Sólidos Totales	%	2540-B	7.7
Sólidos volátiles	%	2540-E	5.2

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



PLANOS