



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“DISEÑO DE UN BIORREACTOR CHINO ANAEROBIO A PARTIR
DEL ESTIÉRCOL VACUNO EN LA COMUNIDAD EL OLIVO_
PALLATANGA.”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

JUAN PABLO WAYLLAS PAZMIÑO

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a la Virgen Dolorosa, por haberme guiado por un buen camino la culminación de mis estudios universitarios.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Fuente inagotable de Ciencia. A la facultad de Ciencias y en especial a la Escuela de Ing. Biotecnología Ambiental, ya que en sus aulas recibí los conocimientos para formarse como persona y como profesional.

A los Docentes, que me guiaron con su conocimiento y consejos en especial al

Dr. Gerardo León, Director de Tesis, a la Dra. Jenny Moreno, Asesora de la Tesis, por su apoyo incondicional durante el desarrollo del presente Diseño.

A mis compañeros y amigos con quienes he compartido, En una etapa muy importante de mi vida, las mas Inolvidables experiencias.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con humildad a mis padres, Humberto Wayllas y Rosa Pazmiño Quienes con su infinita bondad, Me han apoyado incondicionalmente para Lograr una primera meta en mi vida.

A mi segunda Madre Magdalena Inga, hermanos que de alguna forma han constituido una base fundamental en todo el transcurso de mi vida

	FIRMA	FECHA
Dra. YOLANDA DIAZ DECANA FAC.CIENCIAS	_____	_____
Dr. JOSE VANEGAS DIRECTOR FAC. CIENCIAS QUÍMICAS	_____	_____
DR.GERARDO LEÓN DIRECTOR DE TESIS	_____	_____
Dra. JENNY MORENO M. MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	_____
DR. CELSO RECALDE MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	_____
LIC. CARLOS RODRÍGUEZ DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN	_____	_____
NOTA DE TESIS ESCRITA	_____	_____

“Yo, Juan Pablo Wayllas Pazmiño, 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”

JUAN PABLO WAYLLAS PAZMIÑO

RESUMEN

Se diseñó un biorreactor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno que se produce en la comunidad el Olivo, Cantón Pallatanga Provincia de Chimborazo. Para minimizar los graves problemas de contaminación. Para el diseño del biorreactor se inició con los análisis de las muestras de estiércol analizados en el laboratorio de Análisis de aguas de la Escuela Superior Politécnica Chimborazo.

Se realizó cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del biorreactor.

Para encontrar la ubicación para el diseño, se empleó un GPS, y software especializado para encontrar las curvas de nivel, se utilizó reactivos adecuados para encontrar los parámetros físicos para el dimensionamiento del biorreactor.

Las dimensiones del equipo son: longitud (l) 3 m, lado(a) 3m y altura de 2.50 m. Las dimensiones de la base del digester tienen como diámetro 1.5 m y altura de 0.30 m.

Para la selección del modelo del biorreactor se ha tomado como referencia el porcentaje de sólidos totales 20 %, temperatura promedio, 22 °C y la cantidad de materia prima disponibles 156.65 Kg/día de estiércol que nos generara 5 m³ de biogás.

Se recomienda la construcción del biorreactor chino, para satisfacer el 100% la demanda G_{lp}, contribuyendo también con nutrientes para la tierra y biabonos para la agricultura.

SUMMARY

A Chinese anaerobic bioreactor was designed from cattle manure that is produce in the Olivo community, Canton Pallatanga Chimborazo Province.

To minimize the serious pollution problems. For the design of the bioreactor was initiated with analysis of manure samples analized at the Water Analysis Laboratory of the Polytechnic School of Chimborazo.

Engineering calculations were done for the design of the bioreactor.

To find the location for the design, a GPS was used, and specialized software to find the contour lines were used to find the appropriate reagents physical parameters for the design of the bioreactor.

The equipment dimensions are: length (l) 3m, side (a) 3m and height of 2.50m. The dimensions of the digester are as base diameter of 1.5 m and 0.30 m height.

For selection of the bioreactor model is taken as the reference rate 20% total solids, average temperature, 22 °C and the amount of raw material available 156.65 Kg/day of manure that we generate 5 m³ of biogas.

We recommend the construction of Chinese bioreactor 100% satisfacer Glp demand will also contribute to soil nutrients and biabonos for agriculture.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

8000	Factor de reducción del oxígeno
A	mL de Solución
a	Área
Azoe	Nitrógeno
B	mL de Solución
b	Base
C/N	Carbono por nitrógeno
CaCO ₃	Carbonato de calcio
CaO	Óxido de Calcio
CD	Carga diaria
CE	Cantidad de Estiércol Requerido
Cu	Cobre
Damanjuana	Botellón de vidrio de cuerpo grande y boca estrecha
FAQ	Preguntas más Frecuentes
Fe ⁺⁺⁺	Hierro
G	Muestra
GLP	Gas licuado de petróleo
h	Altura
H ₂	Hidrógeno
H ₂ S	Ácido sulfhídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
Kcal/m ³	Kilo calorías por metro cúbico

Kg	Kilogramos
KWH	Kilo Watts Hora
MgO	Óxido de Manganeso
N	Normalidad
°C	Grados Celsius
p1	Peso de la cápsula
p2	Peso de la cápsula con el residuo
Psad	Proyección Sudamérica
P ₂ O ₅	Piro Fosfito
ppm	Partes por millón se sustancia
PVC	Poli vínil cloruro
r ²	Radio
S.V	Sólidos Volátiles
TR	Tiempo de retención
USD	Dólares Americanos
UTM	Universal Transversal Mercator
V	Volumen
X	Peso de la materia prima
Zn	Zinc

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE GRAFICOS

ÍNDICE DE ECUACIONES

ÍNDICE DE FOTOS

ANTECEDENTES

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	ESTIÉRCOL.....	1
1.1.1	LA COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL.....	2
1.1.2	COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS O RESIDUOS ANIMALES	3
1.1.3	Biogás.....	6
1.1.4	Características del Biogás	6
1.1.5	LOS DESECHOS A UTILIZAR.....	7
1.1.6	MICROORGANISMOS QUE NO PRODUCEN METANO	7
1.1.7	Microorganismos productores de Metano	9
1.1.8	MATERIALES DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN	10
1.1.9	Relación carbono-Nitrógeno (C/N).....	11
1.1.10	Concentración de la carga.....	12
1.1.11	Condiciones para la Biodigestión.....	14
1.1.12	La Temperatura.....	14
1.1.13	Valor del PH	16
1.1.14	Promotores e inhibidores de la fermentación.....	16
1.2	PROCESOS DE DIGESTIÓN PARA TRATAR LOS RESIDUOS ORGÁNICOS	17
1.2.1	CLASIFICACIÓN DE LAS FERMENTACIONES	18
1.3	APLICACIÓN Y USOS DE BIOGÁS	20

1.4	COMO FABRICAR UN CEBADOR.....	22
1.5	ESQUEMAS DE ALGUNAS PLANTAS DE BIOGÁS	22
1.6	CONDICIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	29
1.6.1	CALENTAMIENTO DE DIGESTORES	29
1.6.2	FUENTES NATURALES.....	29
1.6.3	LA TEMPERATURA	29
2	PARTE EXPERIMENTAL	31
2.1	ÁREA DE ESTUDIO	31
2.1.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
2.1.2	TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	31
2.1.3	METODOLOGÍA	32
2.1.4	MÉTODOS Y TÉCNICA	32
2.1.5	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	32
2.1.6	DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.....	38
2.1.7	ELABORACIÓN DE PLANOS	39
3	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	40
	INFORMACIÓN GENERAL	40
3.1	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	46
3.2	SELECCIÓN DEL SITIO	47
3.2.1	COMPONENTES DEL DIGESTOR CHINO	47
3.2.2	CANTIDAD DE ESTIÉRCOL REQUERIDO (CE).....	48
3.3	CÁLCULOS.....	50
3.3.1	CAJA DE ENTRADA.....	50
3.3.2	CÁMARA DE DIGESTIÓN.....	50
3.3.3	VOLUMEN DE LA CÁMARA DE DIGESTIÓN	50
3.3.4	VOLUMEN DE BIOGÁS EN EL BIODIGESTOR	52

3.3.5	DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE BIOGÁS	52
3.3.6	CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR.....	54
3.3.7	TUBERÍA QUE CONDUCE LA MATERIA PRIMA	55
3.3.8	TUBERÍA QUE CONDUCE EL BIOGÁS FUERA DEL DIGESTOR.	55
3.3.9	PROFUNDIDAD DE LA ZANJA	55
3.4	RESULTADOS	56
B.	CUANTIFICACIÓN DEL ESTIÉRCOL DISPONIBLE.....	59
C.	CONSUMO DE ENERGÍA EN LA FINCA	60
D.	CANTIDAD DE GLP EN m ³ DE BIOGÁS.....	60
3.5	PRODUCCIÓN DEL BIOABONO.....	64
3.5.1	CANTIDAD DE NUTRIENTES OBTENIDOS DEL BIOABONO	64
3.6	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	66
3.7	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
4.1	CONCLUSIONES	76
4.2	RECOMENDACIONES	77
5	BIBLIOGRAFIA	78
5.1	BIBLIOGRAFÍA INTERNET	81
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE ANIMALES.....	4
TABLA II: CLASIFICACIÓN DE LAS METANOBACTERIAS (BACHT,1979).....	10
TABLA III: RELACIÓN CARBONO - NITRÓGENO DE LAS MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS	11
TABLA IV: RELACIÓN CARBONO A NITRÓGENO DE LAS MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS.	13
TABLA V: CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES EN MATERIALES DE FERMENTACIÓN.....	13
TABLA VI: RENDIMIENTO DE GAS EN DIGESTORES PEQUEÑOS RURALES A DISTINTAS TEMPERATURAS.....	15
TABLA VII: RENDIMIENTO DE GAS CON MATERIALES EMPLEADOS COMÚNMENTE A DISTINTAS TEMPERATURAS	15
TABLA VIII: CONCENTRACIÓN INHIBIDORA DE INHIBIDORES COMUNES.	17
TABLA IX: DIFERENTES USOS PARA EL BIOGÁS	21
TABLA X: PONDERACIÓN DE LOS FACTORES A EVALUAR LLENADO Y OPERACIÓN DE LA MATRIZ.	42
TABLA XI: MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL “DIGESTOR DE BOLSA”	43
TABLA XII: MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL DISEÑO HINDÚ”	44
TABLA XIII: MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL DISEÑO “CHINO”	45
TABLA XIV: DATOS BÁSICOS DE DISEÑO- BIOGÁS DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO.....	48
TABLA XV: ELEMENTOS EN EL ESTIÉRCOL FRESCO Y BIODIGERIDO	65
TABLA XVI: DATOS BÁSICOS DE DISEÑO- BIOGÁS DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO I	RESÚMEN DE LA CAJA DE ENTRADA DEL DIGESTOR	57
CUADRO II	RESÚMEN DE LA CÁMARA DEL BIODIGESTOR	57
CUADRO III	RESUMEN DE LA CAJA DE SALIDA.....	58
CUADRO IV	RESUMEN DE LA TUBERÍA QUE CONDUCE LA MATERIA PRIMA.....	58
CUADRO V	RESUMEN DE LA TUBERÍA QUE CONDUCE EL BIOGÁS FUERA DE LA CÁMARA	58
CUADRO VI	RESUMEN DE LA DIMENSIONES DE LA ZANJA.....	59
CUADRO VII	CANTIDAD DE ESTIÉRCOL DIARIO PRODUCIDO EN LA FINCA EL OLIVO 05- ABRIL DEL 2010.....	60
CUADRO VIII	PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 05-ABRIL DEL 2010.....	62
CUADRO IX	PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 13- ABRIL DEL 2010.....	63
CUADRO X	PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. ABRIL DEL 2010.....	63
CUADRO XI	PRESUPUESTO DE LA CONTRUCCIÓN DEL DIGESTOR.....	67
CUADRO XII	RESÚMEN DE LA CÁMARA DEL BIODIGESTOR	72
CUADRO XIII	PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 05-ABRIL DEL 2010.....	73
CUADRO XIV	PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 13- ABRIL DEL 2010.....	74
CUADRO XV	PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. ABRIL DEL 2010.....	75

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1: DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DEL METANO	5
GRÁFICO 2: DEGRADACIÓN METANOGÉNICA	8
GRÁFICO 3: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS	18
GRÁFICO 4: ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE BIOGÁS.....	20
GRÁFICO 5 PRODUCCIÓN DE GAS DE DIFERENTES TEMPERATURAS	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación:1	12
Ecuación 2.....	49
Ecuación 3.....	49
Ecuación 4.....	50
Ecuación 5.....	51
Ecuación 6.....	52
Ecuación 7.....	53
Ecuación 8.....	54
Ecuación 9.....	54
Ecuación 10.....	56
Ecuación 11.....	61

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Estiércol de ganado	1
Foto2: Vacas del sector.....	2

ANTECEDENTES

El aumento de la demanda de energía por parte de la humanidad crea una difícil situación económica y ambiental, las respuestas a estos problemas requieren de una selección determinada de alternativas tecnológicas que cumplan con la conservación y ahorro energético propendiendo al mejoramiento de los rendimientos y la disminución de las pérdidas de energía en general.

El digestor es entonces un instrumento de producción energético que se encarga del procesamiento o desdoblamiento de la materia orgánica en energía y ayuda a nutrir nuevamente el ciclo de la vida.

En el año 1950 en la India, se desarrollaron modelos de digestores simples, apropiados para los hogares de los aldeanos; esos primeros modelos establecieron claramente que la planta de biogás podría proporcionar iluminación y calor en las aldeas, eliminando la necesidad de importar combustibles, quemar estiércol de vaca o desforestar las tierras.

En el proceso de digestión anaerobia se produce la estabilización completa de la materia orgánica, el material residual que se obtiene es un bioabono ó fertilizante patógeno, rico en nutrientes como, nitrógeno, fósforo y potasio; minerales necesarios para el suelo agrícola, a su vez se logra la producción de un gas combustible energéticamente útil como el metano, así como también se reduce la contaminación del agua, suelo y aire, malos olores y criadero de moscas.(1)

La obtención de energía por biomasa gaseosa se ha desarrollado de forma muy notable en Alemania en los últimos años y se ha consolidado como un subsector independiente dentro del sector de rápido crecimiento de la bioenergía. A finales del 2005 estaban instaladas en Alemania 2 700 plantas de biogás con una potencia eléctrica total de 650 Megavatios. Según los cálculos aproximados de la Asociación Alemana de Biogás(FvB), hasta el año 2020 esta cifra podría crecer hasta 9 500 Megavatios. En el

campo de la tecnología de biogás, el sector Alemán ocupa el primer puesto a nivel mundial.

Las ofertas de las empresas Alemanas comprenden toda la cadena de creación de valor, desde la planificación hasta la operación y el mantenimiento, pasando por la construcción de la instalación de biogás. Una amplia experiencia en la gerencia operativa, en la biología de los procesos así como en la prestación de servicios de laboratorio correspondiente es una garantía para una exitosa operación de la instalación. Están a disposición productos consolidados del ámbito de las instalaciones de almacenaje y depósito, así como del de las centrales de cogeneración y de la técnica de análisis de biogás. En un futuro, en el ámbito de los combustibles, el biogás podrá ser utilizado como sustituto o complemento del gas natural.

En nuestro país la principal fuente energética es el petróleo, casi toda nuestra economía e industria se desarrollan en base a la producción petrolera, por lo tanto es imperativo

buscar nuevas alternativas energéticas que proporcionen una cierta independencia de este recurso, pero que a su vez permita impulsar el desarrollo del país.

El Biogás es una fuente de energía útil, la misma que ya se ha estudiado durante los últimos años en nuestro país, por lo tanto, sin considerarse una innovación es una alternativa muy factible a realizar, la misma que permite utilizar los materiales considerados residuos de la actividad pecuaria para su combustión directa.

El biogás producido a través de materiales orgánicos constituye el instrumento económico y lógico como fuente de energía renovable. Esta energía no tiene límites, ya que puede ser renovables, al igual que otras; la solar, la eólica de los mares, etc.

La combustión anaerobia de la materia orgánica, produce en promedio 5,300 Kcal/m³ iguales a las producidas al combustionar un Kilo de carbón o medio Kilo de petróleo.

La producción de biogás por metro cúbico de digestor varía de acuerdo a; las condiciones climáticas, el tipo de residuos o materia prima, la composición de la materia prima, etc. Sin la acción de la fermentación anaerobio se puede considerar a los desechos orgánicos sea como desperdicio o como un factor de polución ambiental, en la implementación del digestor actúa como pieza insustituible porque permite recuperar energías que actualmente se derrochan y producir el bioabono para la alimentación de los suelos en forma natural.

Tenemos una gran variedad de diseños de Biorreactores para la producción de biogás pero debemos elegir un biorreactor de clima frío. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ingeniería Zootecnia (F.I.Z) se ha construido un biorreactor Chino que aportará mucha información para el dimensionamiento del biorreactor. La Comunidad el Olivo, posee grandes extensiones de tierra que se dedican a la ganadería y a la agricultura, que proporcionará la materia prima para digestor.

JUSTIFICACIÓN

En vista de la escasez cada vez mayor de fuentes de energía y el deseo de crecimiento de los pueblos, se busca desarrollar una perspectiva de autosuficiencia en este tema, por esta razón en las zonas rurales se ha comenzado a prestar atención a criterios como la generación del biogás como fuente de gas combustible, condición que permitirá un mayor desarrollo del nivel de vida de los campesinos y el aprovechamiento eficiente de los residuos.

La Comunidad el Olivo es una zona ganadera que cuenta con un aproximado de 800 animales vacunos productores de leche, ésta genera un alto volumen de estiércol, el mismo que hasta la actualidad sólo se incorpora al terreno sin ningún tratamiento ayudando a la fertilización, utilizando como abono y en otros lugares utilizan para generación de biogás.

En La provincia Chimborazo; en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ingeniería Zootecnia existe un digester anaerobio que no se encuentra en funcionamiento por falta de materia prima (estiércol), cuyo producto es alimentado de energía a la planta de lacteos, en la actualidad la planta no esta en funcionamiento por falta de materia prima. La cantidad de materia prima es importante para determinar las dimensiones del digester.

El presente diseño se encaminará a recolectar los residuos (estiércol) generado por los vacunos, para evitar la contaminación de afluentes y aprovechar la mineralización del estiércol para utilizar como fertilizante y generación de energía.

La implementación del digester anaerobio permitirá utilizar el estiércol en forma eficiente y generar energía a través de la producción del biogás así como también se genera el bioabono que podrá ser utilizado en el mismo lugar. Se aprovechará los residuos, aportando al mejoramiento del lugar y mejorando la calidad de vida, evitando la contaminación de la comunidad El Olivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Biorreactor Chino Anaerobio a partir del estiércol vacuno en la comunidad el Olivo_Pallatanga

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Caracterizar el estiércol de ganado vacuno mediante el análisis físico y químico.
2. Dimensionar el Biorreactor para la producción del Biogás.
3. Determinar el costo para la realización de este Diseño.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 ESTIÉRCOL

Desde hace mucho tiempo se conoce el valor fertilizante del estiércol. Sin embargo, la intensificación de la cría de ganado ha modificado localmente las cantidades y la naturaleza de los efluentes producidos.

La cantidad de ganado y la producción de deyecciones líquidas (estiércol licuado), son tales que la capacidad de absorción de las tierras está rebasada. Esos excedentes de estiércol licuado plantean problemas ecológicos particularmente agudos en varios países situados alrededor del mar del Norte, donde actualmente son tachados como materia sucia.



Foto 1: Estiércol de ganado

El flujo de las existencias de estiércol licuado puede ser enfocado de diversas maneras, tratamiento rechazo o esparcimiento sobre las tierras agrícolas. El tratamiento de los residuos animales no da resultado a largo plazo y no ha tenido el desarrollo que se confiaba.

El rechazo directamente en las aguas superficiales es ilegal en muchos países, moralmente inaceptable y además costoso, ya que la pérdida de elementos fertilizantes es total. El esparcimiento sobre las tierras agrícolas, incluso teniendo en cuenta la amortiguación de la infraestructura necesaria para un almacenamiento de la larga

duración y de los gastos del esparcimiento, sigue siendo la solución más económica. Por ello conviene limitar las pérdidas por volatilización arroyando, lavado y desnitrificación; y, así administrar la reserva de afluentes para evitar los esparcimientos excedentes que conducen a situaciones de caracterizar poluciones, no sólo del aire y del agua sino además, a más largo plazo, de los suelos.

1.1.1 LA COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL

Es una mezcla compuesta por una porción de alimento sin digerir, bacterias arrastradas del tracto digestivo líquidos digestivos y agua; es decir excrementos sólidos, líquidos y un 80 a 85% de orina, resto de comida, desechos vegetales o animales, etc.

La porción fecal del estiércol contiene un gran número de ingredientes alimenticios en su forma original. Las excretas así mismo contienen sustancias que son transformadas por la actividad metabólica de las bacterias en el tracto digestivo, así como la acción enzimática de los jugos digestivos.

Los principales elementos de este estiércol (purín) son: Materia orgánica (M.O) Nitrógeno (N), Fósforo (P), Cobre (Cu) y otros.



Foto2: Vacas del sector

1.1.2 COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS O RESIDUOS ANIMALES

La caracterización del estiércol de las deyecciones sólidas y líquidas actualmente se reúne antes de almacenarlas, sea con la paja de la cama para constituir el estiércol, con las aguas que ha usado para lavar, así como pequeñas cantidades de residuos alimenticios, para constituir el estiércol licuado.

La composición de esas mezclas varía considerablemente de acuerdo con la especie animal y también con la proporción de paja o de agua añadida, así como el tipo de almacenamiento.

Los desechos animales son ricos en materias orgánicas por ejemplo: en caso de bovinos; 4% en los orines y 14% en la bosta, con un 3% materias minerales en los dos tipos de deyecciones. De tal suerte que el contenido de materias orgánicas del estiércol licuado es del orden del 6%.

Los elementos principales del estiércol sólido y el licuado son el azoe (nitrógeno) presente esencialmente bajo la forma orgánica, el fósforo y el potasio, a la suma de estos dos. Junto a la materia y los elementos principales, las deyecciones de los animales contienen cantidades apreciables de elementos secundarios (calcio, magnesio y sodio) y de oligoelementos (cobre, zinc, hierro). Tabla I de la composición de los residuos de animales según algunos autores.

TABLA I: COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE ANIMALES

COMPOSICIÓN MEDIA DEL ESTIÉRCOL SÓLIDO Y LICUADO DE LA GRANJA									
a) Elementos principales, Kg /Tonelada									
	Ms	Mat.min	Mat.Orga	N Total	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg	CaO
Estiércol Sólido									
Bovino	200-250			3-5,6	1,7	3,5-7,4	0,5	2	5
Estiércol licuado									
Bovino	80-97	18-34	64	3,7-4,6	1,6-2,3	4,8-5,8		0,7-1,6	2,0-3,9
Porcino	68-81	11.19	55-67	4,3-7,0	3,7-6,0	2,4-6,4		1,1-1,9	3,3-6,4
Aves de Corral	124-214	25-74	50-58	6,5-10,8	3,9-10,2	4,4-6,4		1,3-3,0	5,3-9,7

Fuente: David Coll Batllori; 2008

El estiércol licuado de las aves de corral es, generalmente, el más rico en la materia seca, el azoe total y amoniacal P₂O₅, MgO y sobre todo CaO. El estiércol licuado de los cerdos presente contenidos más elevados que los estiércoles licuados de los bovinos en nitrógeno total amoniacal, P₂O₅ y CaO. Entre los elementos presentes en estado de traza, es necesario, tener en cuenta el contenido de cobre del estiércol licuado de cerdo. y el contenido en Zinc de los estiércoles licuados del cerdo y de las aves de corral, mientras que otros elementos se encuentran en cantidades ínfimas.

Los resultados de la composición media obtenidos por los diferentes autores son muy similares (Destain, et al., 1983). Entre estos factores de variación, la tasa de dilución es ciertamente, uno de los más importantes, aunque el tipo de especulación (genética animal de engorde), de alimentación así como la época del año también intervienen. Por tanto, se imponen el recurso al análisis a nivel de cada explotación con, previamente, una suficiente soldadura de la zanja pues la masa tiende a sedimentarse.

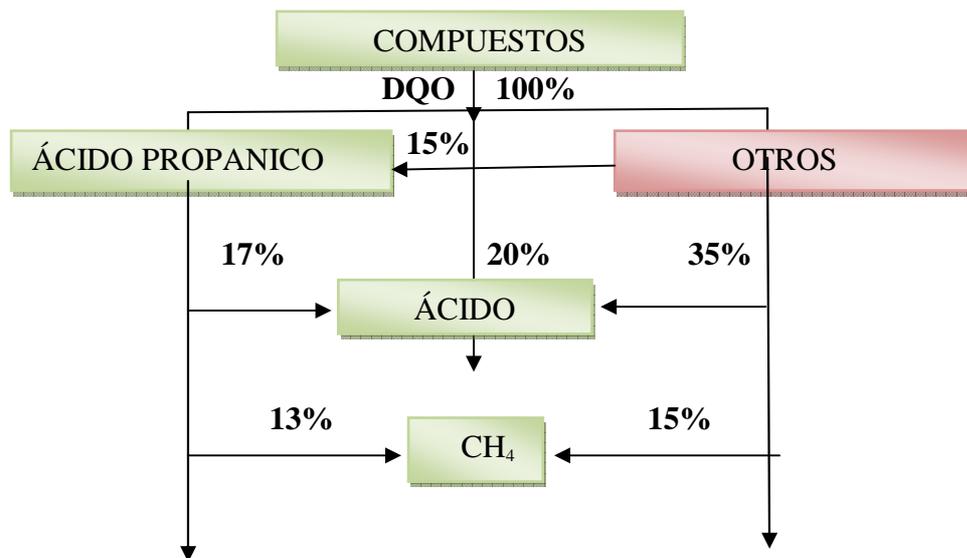
La tecnología y la utilización del biogás ha despertado un gran interés en todo el mundo; las razones son: las ventajas ecológicas de la utilización de los desechos agrícolas y de los animales, la conservación de los recursos naturales, la lucha contra la

contaminación, el saneamiento ambiental y sobre todo, la explotación de una fuente de energía. En los países subdesarrollados, la aplicación de esta tecnología ha adquirido una extraordinaria importancia. Los recursos locales apenas explotados, los combustibles y los abonos orgánicos en forma de desecho animal y vegetal se pierden parcialmente; mediante la tecnología del biogás, estos desechos pueden por si solos proveer combustibles.

Durante la segunda guerra mundial empezó a aplicarse experimentalmente y desde entonces se investigan esporádicamente diversos aspectos en algunos países. Últimamente, debido a la reciente crisis del petróleo a los costos de los fertilizantes, el interés en una nueva tecnología ha revivido. Varios países desarrollados y en desarrollo han iniciado investigaciones más amplias con la finalidad de examinar las posibilidades, problemas y trabajos relacionados con las instalaciones de biogás.

Este recurso es de importancia particular para los países importadores de petróleo; aún más, pudiendo ser utilizado localmente a través de tecnologías simples. El biogás es particularmente indicado para el desarrollo rural y agrícola, ya sea en los países industrializados, como en los que están en vías de desarrollo.

GRÁFICO 1: DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DEL METANO



Fuente: www.Monografias.com/imagen/42

1.1.3 Biogás

El gas producido es una mezcla que contiene del 65 - 70 % de metano, 30- 35 % de anhídrido carbónico, trazas de ácido sulfúrico, pequeños porcentajes de H_2 , CO e hidrocarburos saturados y un potencial energético de 5300- 5800 Kcal/m³ de biogás.

Quienes producen biogás para su propio consumo ahorrarán otros combustibles más costosos o no siempre disponibles en todas las regiones, como el queroseno, el carbón, o la leña, cocinando con biogás se economiza tiempo y trabajo. El tiempo ganado se podrá destinar a tareas domésticas labores agrícolas, por ejemplo, cultivar un huerto muy grande, o trabajos lucrativos de artesanía.

El biogás es un combustible que arde bien y no desprende humo como el carbón o la leña. Además, ensucia menos la cocina y los alimentos. Los residuos de la producción del gas constituyen un excelente fertilizante para los campos.

1.1.4 Características del Biogás

El componente principal para la producción del biogás es el Estiércol y las materias vegetales. Este gas se puede recoger y utilizar previa purificación.

No es fácil construir una unidad de biogás, en un comienzo, la instalación requiere de una cierta inversión de tiempo, trabajo y dinero.

- La unidad deberá ubicarse en un lugar apropiado.
- Las temperaturas extremas comprometerán el funcionamiento de la unidad de biogás, las temperaturas ideales para el desprendimiento de gas están comprendidas entre 32°C y 37°C a temperaturas inferiores a 10°C prácticamente no hay gas.
- Debemos disponer también de abundante estiércol o materiales vegetales.

1.1.5 LOS DESECHOS A UTILIZAR

El estiércol de vaca, cerdo o gallina, y los desechos de vegetales y cosechas son buenos materiales para la producción de biogás.

Se puede utilizar sólo estiércol o vegetales, o una mezcla de ambos. La paja mezclada con excrementos animales, que se recogen en los corrales de cerdos o gallinas, constituyen una buena mezcla de estiércol y material vegetal para la obtención de biogás.

Al principio es mejor emplear sólo estiércol o una mezcla de estiércol y muy poca materia vegetal. Tanto el estiércol como las materias vegetales deberán estar mezclados con agua.

- La proporción del agua con materia prima o materia vegetal es 1:1
- Las materias vegetales que no hayan sido bien mezclados pueden no producir gas.
- Las materias vegetales mezclados con agua se aglutinan debidamente.

1.1.6 MICROORGANISMOS QUE NO PRODUCEN METANO

Son una serie de microorganismos que convierten en complejos y en productos orgánicos a molécula más sencillas y más pequeñas. Participan numerosas y variados microbios anaerobios y facultativos, dependiendo su número y su variedad de los materiales de fermentación.

Los microbios que no producen metano pueden clasificarse en tres grupos, bacterias, mohos y protozoos, entre los cuales tienen mayor importancia los primeros.

Bacterias: Hay muchos tipos de bacterias que no producen metano. Según la FAQ (1986), sobre la base de sus grupos fisiológicos, se clasifican las bacterias no metanogénicas en siete grupos las que se descomponen la celulosa, la hemi- celulosa,

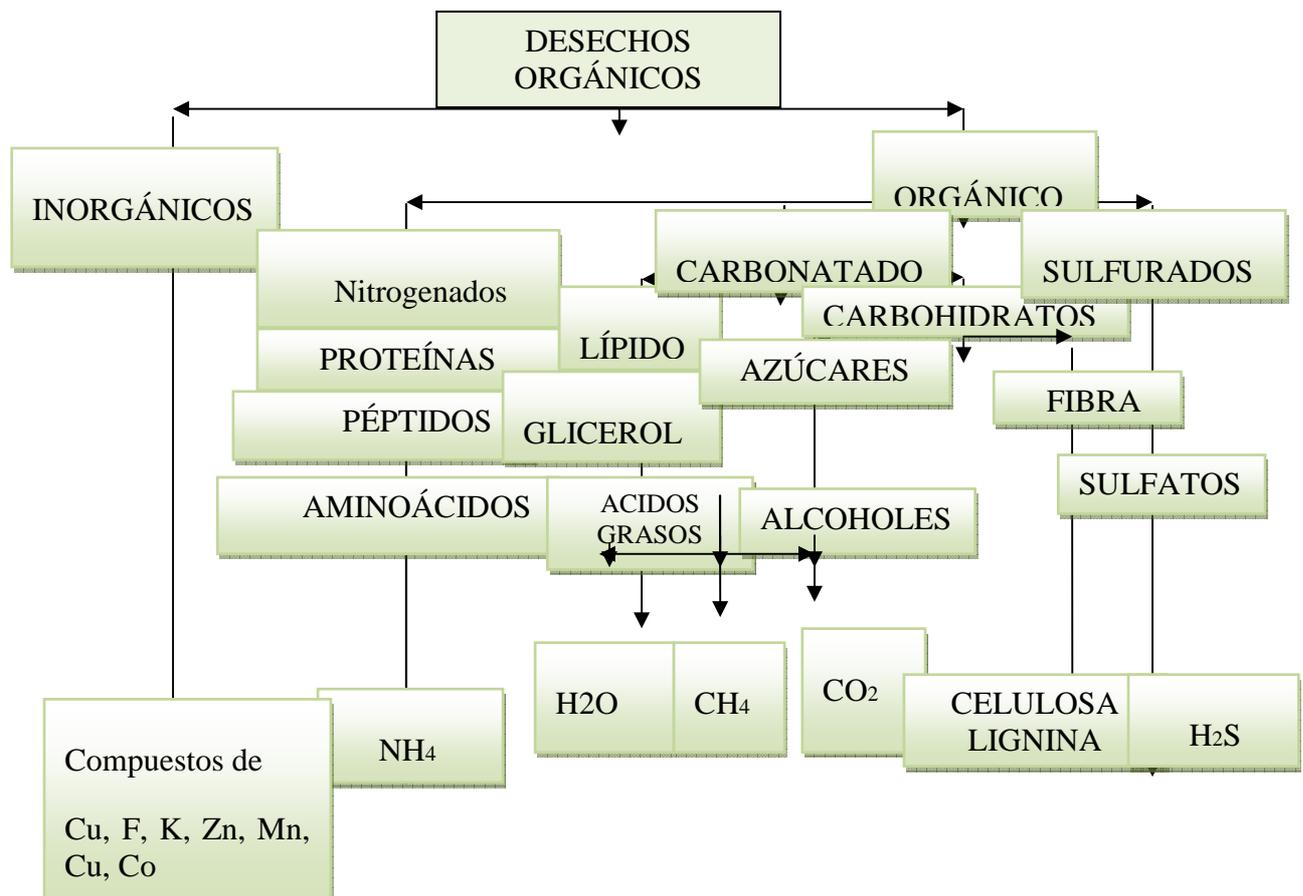
las proteínas y las grasas, las que producen hidrógeno, otros microbios específicos como los thiovibros y las que emplean el ácido láctico.

Mohos: Mediante el cultivo artificial se han aislado numerosos mohos y levaduras en la digestión anaeróbica, llegándose a la conclusión que estos organismos podrían participar en el proceso de la digestión, del cual obtendrán los nutrientes.

Protozoos.- Algunos investigadores han señalado que los protozoos intervienen en este proceso, tratándose principalmente de Plasmodium, flagelados y amebas, aunque consideran que podría desempeñar un papel de menor importancia en el proceso.

En la digestión anaeróbica la mayoría de bacterias no son metanogénicas, y tienen una gran importancia en el desarrollo del proceso anaeróbico, ya que las bacterias productoras de biogás no pueden aprovechar directamente los compuestos orgánicos a menos que éstos hayan sido degradados y convertidos en compuestos más sencillos, de menor peso molecular, gracias a la acción de las bacterias no metanogénicas (10).

GRÁFICO 2: DEGRADACIÓN METANOGENICA



La gráfica representa las etapas que se producen en a degradación metanogénica.

- **Primera Etapa:** La materia orgánica es atacada por grupos de bacterias fermentativas Proteolíticas y Celulolíticas, que la degradan hasta ácidos grasos y compuestos neutros.
- **Segunda Etapa:** Los ácidos grasos orgánicos son atacados por bacterias reductoras obligadas de hidrógeno, que llevan los ácidos a acetato. Simultáneamente un grupo de bacterias homoacetogénicas, degradan los ácidos de cadena larga de acetato a H_2 y CO_2 .
- **Tercera Etapa:** Las bacterias metanogénicas utilizan tanto el acetato como el H_2 y CO_2 para producir metano.

1.1.7 Microorganismos productores de Metano

Son el grupo más importante de microbios de fermentación en la fabricación de biogás. Estas bacterias se caracterizan por ser muy sensibles al oxígeno a los ácidos solo pueden usar como sustrato los compuestos orgánicos más sencillos. El crecimiento y la reproducción de las bacterias metanogénicas es muy lento, demora de 4 a 6 días. Su estudio ha avanzado muy lentamente por la dificultad de aislar, incubar y almacenarlos.

Hasta ahora se han obtenido muy pocas especies puras, no pasando 13 cepas. Tabla N°II.

TABLA II: CLASIFICACIÓN DE LAS METANOBACTERIAS (BACHT, 1979)

<i>Orden</i>	<i>Familia</i>	<i>Genero</i>	<i>species</i>
<i>Methanobacterias</i>	<i>Methanobacteriaceae</i>	<i>Methanobacterium</i>	<i>Methanofornicum</i>
			<i>Methanobryantil</i>
			<i>M.thermoatotropic</i>
		<i>Methanobrevibacter</i>	<i>Methanoruminantium</i>
			<i>Methanoarboriphilus</i>
			<i>Methanosmithil</i>
<i>Methanococates</i>	<i>Methanococcaceae</i>	<i>Methanocoecus</i>	<i>Methanovannielii</i>
			<i>Methanovoltae</i>
<i>Methanomicrobiates</i>	<i>Methanomicrobiaceae</i>	<i>Methanogenium</i>	<i>Methanocaraci</i>
			<i>Methanomarispigri</i>
			<i>Methanospiellum</i>
		<i>Methanomicrobium</i>	<i>Methanohongatei</i>
			<i>Methanosarcina</i>
			<i>Methanomobile</i>
			<i>Methanobarkerie</i>

Fuente: Tomada de Biogás una experiencia en China FAO, 1986

1.1.8 MATERIALES DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN

Llamamos así a todos los desechos orgánicos que se introducen dentro de un biodigestor para su degradación. Pero para la fermentación los microorganismos metanogénica necesitan nutrientes para producir biogás, por ello es necesario contar con suficiente material de carga para que se produzca el proceso de digestión.

La materia orgánica que se utiliza como material de carga (residuos de los cultivos, excretas de animales), se pueden clasificar en dos grupos, el primer grupo la materia prima es rica de nitrógeno, y la segunda clasificación son ricas en carbono, el nitrógeno se utiliza como constituyente para la formación de la estructura celular y el carbono se utiliza como fuente de energía.

1.1.9 Relación carbono-Nitrógeno (C/N)

Los microbios siempre consumen estos elementos en determinada proporción medidos por la relación carbono-nitrógeno (C/N) que contienen la materia orgánica.

Las excretas de humanos y de animales son ricos en nitrógeno, con una relación C/N inferior a 25:1, durante la fermentación tiene una mejor velocidad de biodegradación y de generación de gas; en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación C/N superior a 30:1 pero una degradación más lenta de gas en el proceso de digestión (Tabla No III)

TABLA III: RELACIÓN CARBONO - NITRÓGENO DE LAS MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS

Materias Primas	Contenido de carbono (%)	Contenido de nitrógeno (%)	Relación carbono a nitrógeno (C/N)
Paja seca de trigo	46	0.53	87:1
Paja seca de arroz	42	0.64	67:1
Tallo de maíz	40	0.75	53:1
Hojas Secas	41	1.00	41:1
Estiércol de aves	41	1.30	32:1
Pasto	14	0.54	27:1
Estiércol Fresco de oveja	16	0.55.	29:1
Estiércol fresco de vaca	7,3	0.29	25:1
Estiércol fresco de caballo	10	0.29	25:1
Estiércol fresco de cerdo	7.8	0.60	13:1
Estiércol frescas humanas	2.5	0.85	2,9:1
Estiércol de Aves			15:1

Fuente: El Biogás, 1986

En general materias primas ricas en carbono producen más gas que las ricas en nitrógeno, así mismo en más rápida la producción de gas a partir de materias primas nitrogenadas (excretas), que las ricas de carbono (paja y tallos); mientras que los primeros días de fermentación las materias primas de nitrógeno generan de 34.4% y 46% del total del gas producido, las ricas en carbono solo aportan el 8.8% (FAO, 1986). Por ello para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, es conveniente combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimiento y de distintas velocidades de generación, también es conveniente agregar las materias primas ricas en nitrógeno a las materias primas de alta relación C/N, a fin de bajar esta relación.

Por ejemplo, residuos de animales y humanos.

La relación C/N se puede calcular aplicando la fórmula siguiente:

Ecuación:1

$$k = \frac{C_1 \times X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 \dots \dots \dots}{N_1 X_1 + N_2 X_2 + N_3 X_3} \sum_{N_1 X_1}^{C_1 X_1} \dots \dots \dots$$

Donde:

C= Porcentaje de carbono en la materia prima.

N=Porcentaje de nitrógeno en la materia prima.

X=Peso de materia Prima

K=C/N de la mezcla de las materias primas

1.1.10 Concentración de la carga

Para la producción de gas, tratamiento de los efluentes y operación del reactor no es convenientemente que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida, se recomienda una concentración de 5-10%. Sobre la base de los sólidos totales de la carga pueden calcularse la concentración de los lodos, la cantidad de agua que habrá que agregar y las proporciones de los componentes, la Tabla IV y V nos muestran el contenido de sólidos totales de algunos materiales de carga para los digestores.

TABLA IV: RELACIÓN CARBONO A NITRÓGENO DE LAS MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS.

Materiales	Renglones %	Sólidos Totales	Sólidos volátiles	Grasas	Lignina	Celulosa Compleja	Proteína
Estiércol porcino	Frescos	27.4	20.97	3.15	5.8	8.88	3.0
	Totales	100	76.54	11.5	21.49	32.39	10.95
	Vs	.....	100	15.03	28.08	42.32	14.31
Estiércol Vacuno	Frescos	20.0	15.8	0.65	7.11	6.46	1.81
	Totales	100	76.89	3.23	35.57	32.49	9.05
	Vs	...	100	4.20	46.2	42.26	11.77
Estiércol de aves	Frescos	68.9	56.64	2.96	13.66	24.83	6.36
	Totales	100	82.20	2.84	19.82	50.55	9.56
	Vs	.....	100	3.46	24.11	61.5	11.58
Paja de arroz	Frescos	88.82	76.41	8.54	11.28	53.25	4.81
	Totales	100	86.02	9.62	12.7	59.95	5.42
	Vs	.....	100	11.18	14.76	69.19	6.3
Pasto verde	Frescos	15.9	12.93	1.28	1.56	9.1	0.79
	Totales	100	81.32	8.05	9.8	57.22	4.94
	Vs	.....	100	9.90	17.05	70.36	6.07

Fuente: El Biogás, 1986

TABLA V: CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES EN MATERIALES DE FERMENTACIÓN

Materiales	Contenido seco (%)	Contenido hídrico (%)
Paja de arroz	83	17
Paja de trigo seca	82	18
Tallo de Maíz	80	20
Pasto verde	24	76
Excretas Humanas	20	80
Estiércol de cerdo	18	82
Estiércol de vaca	17	83
Orina humana	0.4	99.6
Orina de cerdo	0.4	99.6
Orina de vaca	0.6	99.4

Fuente: El Biogás 1986

1.1.11 Condiciones para la Biodigestión

Las condiciones para la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

- Temperatura entre los 20°C y 60°C
- pH (nivel de acidez/ alcalinidad) aproximadamente de siete.
- Ausencia de oxígeno.
- Gran nivel de humedad.
- Materia orgánica.
- Que la materia prima se encuentra en trozos lo más pequeños posible.
- Equilibrio de carbono/ nitrógeno.

1.1.12 La Temperatura

La temperatura es un factor importante para la producción de biogás, debemos mantener la temperatura constante, para eso debemos aislar la cámara de biogás para mantener una temperatura óptima que es de 30°C a 35°C aproximadamente.

La temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión y la degradación del material dentro del digestor, la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo, además se incrementa la producción de gas.

Figura N° 1 y Cuadro (VI) y (VII)

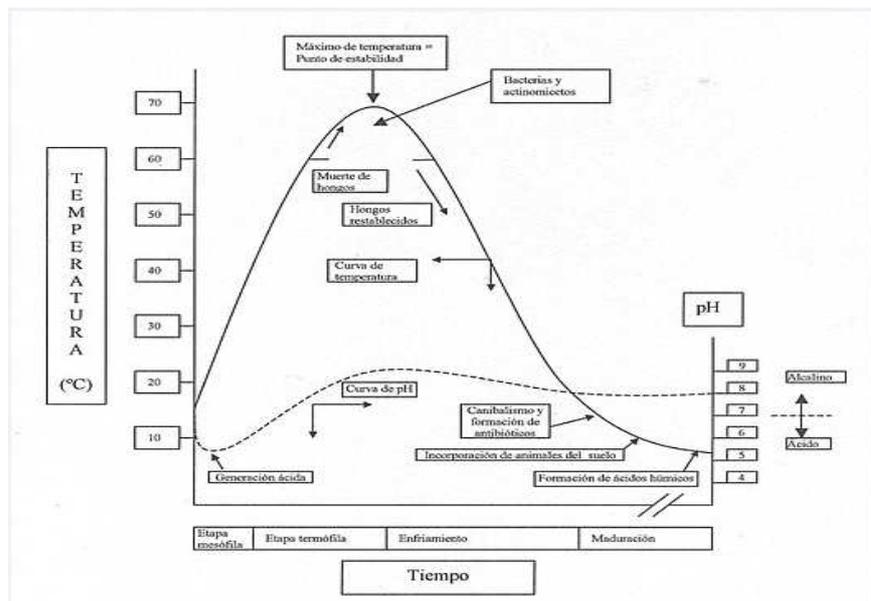


FIGURA 1: CRECIMIENTO MICROBIANO.

TABLA VI: RENDIMIENTO DE GAS EN DIGESTORES PEQUEÑOS RURALES A DISTINTAS TEMPERATURAS

Material de carga	Temperatura (°C)	Producción de gas (m3/ m3 a dia)
Paja de arroz + estiércol	29.30	0.55
Porcino + pastos	24.26	0.21
Porcino + pastos	16.20	0.10
Porcino + pastos	12.15	0.07
Porcino + pastos	Menos de 8	Escasa

Fuente: Arias.(1986) Difusión de programas de biogás.

TABLA VII: RENDIMIENTO DE GAS CON MATERIALES EMPLEADOS COMÚNMENTE A DISTINTAS TEMPERATURAS

Materiales	Mesofilico (35 °C)	Ambiente (8-25°C)
Estiércol de cerdo	0.42	0.25-0.3
Estiércol de vaca	0.3	0.2-0.25
Estiércol de humano	0.43	0.25-0.3
Paja de arroz	0.4	0.2-0.25
Paja de trigo	0.45	0.2-0.25
Pasto verde	0.44	0.2-0.25

Fuente: Arias., 1986

Una forma de aumentar la eficiencia del sistema de calentado el afluente, para ello se hace circular agua caliente por un serpentín colocado dentro de la cámara de fermentación, también se utilizada bujías de calentamiento, pero tiene el inconveniente que el calor no se distribuye uniformemente en el afluente. Finalmente el ciclo digestivo al ser más rápido a altas temperaturas, determinan que la capacidad del digester debe ser mayor a menores temperaturas que a altas temperaturas.

1.1.13 Valor del pH

Este factor indica cómo se desenvuelve la fermentación. Se mide con un valor numérico llamado pH, que en este caso el valor es 7. Cuando los valores superan el pH 8, esto indica una acumulación excesiva de compuesto alcalino y la carga corre riesgo de putrefacción. Los valores inferiores a 6 indican una descompensación entre las fases Ácidas y Metanogénica, pudiendo bloquearse esta última.

El valor óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5-7.5 cuando es baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso el detenerlo. Normalmente cuando se trabaja con residuos domésticos y agropecuarios, la dinámica del mismo proceso ajusta el pH.

El pH se puede corregir en forma práctica:

Obteniendo frecuentemente una pequeña cantidad de afluente y agregando materia prima fresca en la misma cantidad y en la forma simultánea.

Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, ceniza, agua amoniacal diluida o una mezcla de ambos y licor fermentado.

1.1.14 Promotores e inhibidores de la fermentación

Los promotores son materiales que pueden fomentar la degradación de la materia orgánica y aumentar la producción de gas, entre ellos tenemos enzimas, sales inorgánicas, urea, carbonato de calcio (CaCO_3). Los inhibidores, son aquellos factores, que inhiben la actividad vital de los microbios.

Entre los promotores de la fermentación hay diversos tipos de materiales entre ellos enzimas, sales inorgánicas. Cuando se carga el digestor, es útil agregar celulosa para promover el proceso y la producción de biogás.

La úrea y el carbonato de calcio han dado buenos resultados. El primero acelera la producción de metano y la degradación del material, el segundo es útil para la generación de gas y para aumentar el contenido de metano en el gas.

Son muchos los factores que afectan la actividad de los microorganismos. La alta concentración de ácidos volátiles (más de 2000 ppm en la fermentación mesófila y de 3600 ppm para la termófila). La excesiva concentración de amoníaco y nitrógeno, destruyen las bacterias, todo tipo de productos químicos agrícolas, en especial los tóxicos fuertes aumentan aún en ínfimas proporciones podrían destruir totalmente la digestión normal. Muchas sales como iones metálicos son fuertes inhibidores. Van Velsen y Lettinga (1980) FAQ,(1986) tabla N° VIII.

TABLA VIII: CONCENTRACIÓN INHIBIDORA DE INHIBIDORES COMUNES

INHIBIDORES	CONCENTRACIÓN INHIBIDORES (mg/L)
SO_4^{-2}	5000
NaCl	40000
Nitrato (según contenido de nitrógeno)	0,05
Cr^{+2}	100
Cr^{+4}	200
Ni	200-500
CN^{-1}	25
Detergente sintético	20-40
Na	3500-5500
K	2500-4500
Ca	2500- 4500
1000-1500 mg/L	1000-1500

Fuente: F.A.O 1986

1.2 PROCESOS DE DIGESTIÓN PARA TRATAR LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

Se necesita las condiciones ambientales óptimas para la degradación de la materia orgánica, un manejo adecuado para que funcione eficientemente el sistema, desde que se carga el digestor hasta la producción del gas y salida del afluente. Existen muchos

procesos para tratar los diversos residuos orgánicos, los cuales dependen de las condiciones de diseño del sistema, como de los propios digestores y del modo de presentación de los substratos a ser fermentados.

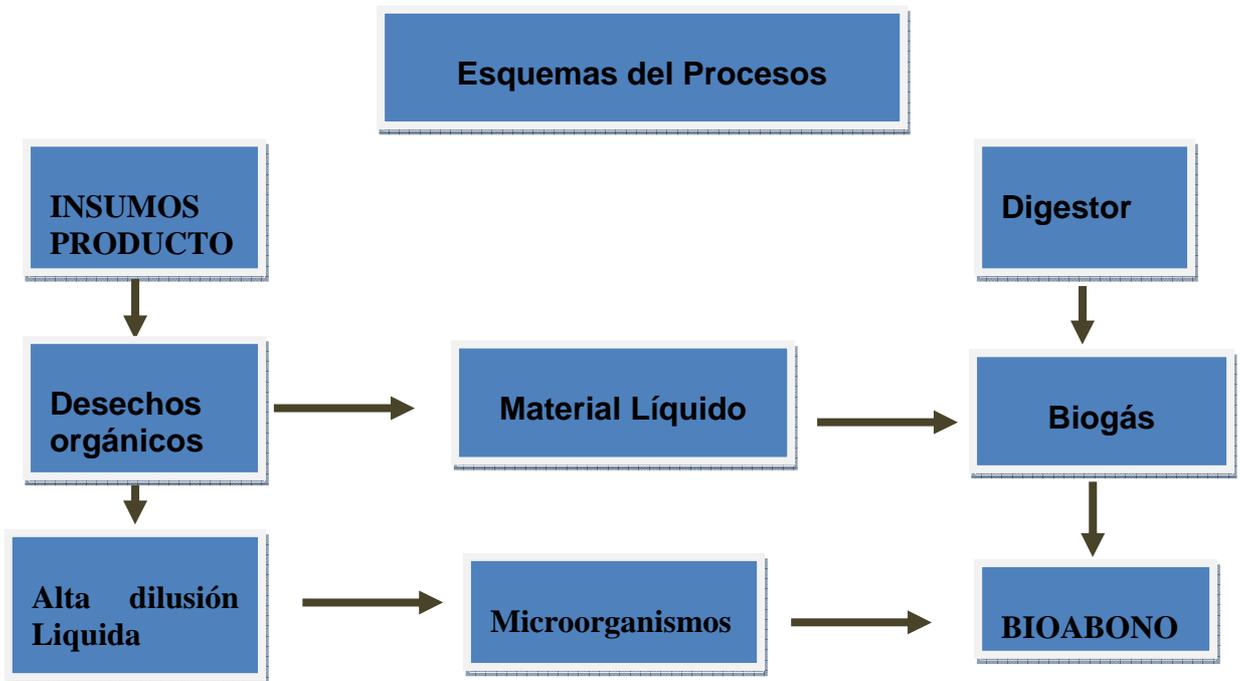
1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FERMENTACIONES

Fermentación Continúa. Cuando la fermentación en el digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al material que entra, la producción de gas es uniforme en el tiempo; este proceso se aplica en zonas con ricas materias residuales y digestor de tamaño grande (mayor de 15m³) y mediano (entre 6.3 y 15 m³)

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

El digestor se carga diaria o inter diariamente nuevas cantidades de lodos frescos (14).

GRÁFICO 3: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS



Fuente: Jácome, 1990

Fermentación Semicontinua.-La primera que se introduce, consta de gran cantidad de materiales, cuando va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas se agregan nuevas materias y se descarga el afluente regularmente en la misma cantidad.

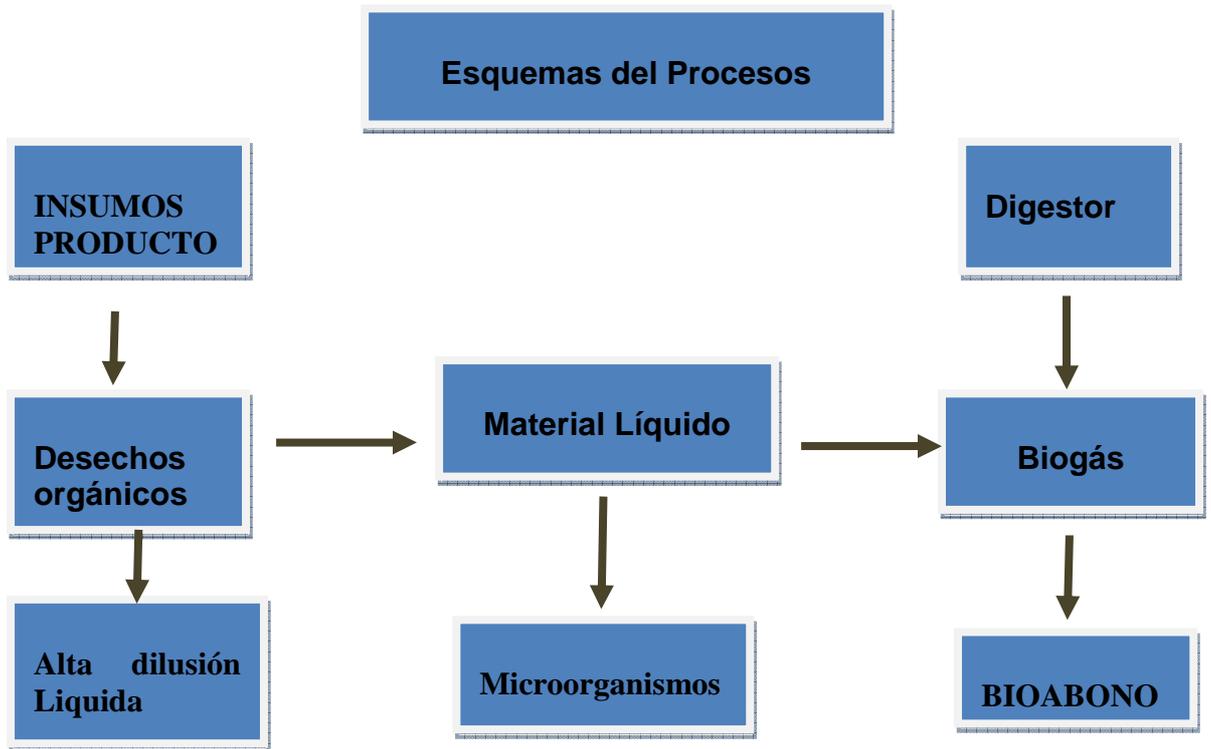
El sustrato a degradar ocupa un Volumen en el digestor (80%) mientras que el resto del volumen (20%) es reservado para realizar cargas continuas diarias o intermedias, a medida que va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas. Está operación reúne las ventajas y desventajas del batch, pero en el caso del bioabono por la adicción continua de materia rica en nutrientes incrementan aún más su calidad.

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

También se conoce como operación “Batch”, todo adentro todo fuera.

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

GRÁFICO 4: ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE BIOGÁS



Fuente: Jácome, 1990

1.3 APLICACIÓN Y USOS DE BIOGÁS

El biogás es algo más ligero que el aire y mezclado con este constituye un combustible de buena calidad; sus características varían con el contenido de metano y tiene aplicaciones similares a otros combustibles gaseosas tales como el gas licuado, el gas de entubación y el gas natural que se obtiene directamente en pozos de petróleo.

El biogás puede utilizarse directamente en quemadores: como por ejemplo en estufas, lámparas, refrigeradores, etc., o bien pueda ser utilizada como combustible en máquinas de combustión interna.

Si el biogás se va a quemar directamente sólo es necesario eliminar las gotas de agua en suspensión que son arrastrados por el gas a salir del digestor, evitando así la obstrucción de las tuberías en las que maneja el biogás. Una forma de eliminar esta agua es haciendo pasar el gas a través de un separador de líquidos, que consiste básicamente en un

recipiente que guarda una temperatura más baja que el biogás, para condensar el vapor de agua y atraparlo.

Si el gas va a ser usado como combustible en un motor de combustibles interna es necesario eliminar las trazas de ácido sulfhídrico (H₂S). Para quitar estas impurezas se hace pasar el biogás a través de una trampa de limadura de hierro, mediante la cual quedan eliminando las trazas de H₂S; la limadura de hierro se regenera periódicamente por una simple exposición de aire durante 3 o 4 días.

La utilización del biogás en equipos comerciales requiere de adaptaciones sencillas para quemarlo eficientemente. En general los quemadores diseñados para el gas GLP se adaptan utilizando un ajuste de aire primario. Para la adaptación de motores de combustión interna se puede optar por la modificación del carburador de gasolina o bien por un carburador especial para el gas.

En el caso de los motores diesel lo que se hace es operarlos en forma dual (85% biogás, 15% diesel), para prevenir daños en los inyectores.

TABLA IX: DIFERENTES USOS PARA EL BIOGÁS

USO	GASTO	METANO REQUERIDO (m³)
Alumbrado	Por hora	0.07
Cocina	Por hora de 50-100 mm De quemador.	0.2-0.5
Refrigeración	Por persona por día	0.3-0.5
	Por hora para 100 litros de capacidad de refrigeración	0.06-0.08

Utilización del bioabono.- Además de generar gas combustible, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelente propiedades fertilizantes, evitando de esta forma la competencia que se podría presentar con el

aprovechamiento tradicional de los residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustibles.

1.4 COMO FABRICAR UN CEBADOR

Unos dos meses antes de comenzar a utilizar la unidad de biogás por primera vez, Se coloca 2 litros de estiércol y dos litros de agua en un balde y mézclelos bien. Puede también añadir un poco de materia vegetal bien molida, pasto, por ejemplo.

- Dos litros de agua más vegetales y dos litros de agua.
- Esta mezcla se llama cebador y contribuye a que la unidad tarde menos en comenzar a producir gas.
- Coloque el cebador en un recipiente que tenga un poco más de 4 litros de capacidad. Podrá utilizar una damajuana o un frasco. El recipiente tiene que quedar abierto.
- El cebador se debe colocar en un lugar caliente y agite el recipiente tres o cuatro veces por semana, para mezclar bien su contenido. En unos dos meses estará listo para ser usado.

1.5 ESQUEMAS DE ALGUNAS PLANTAS DE BIOGÁS

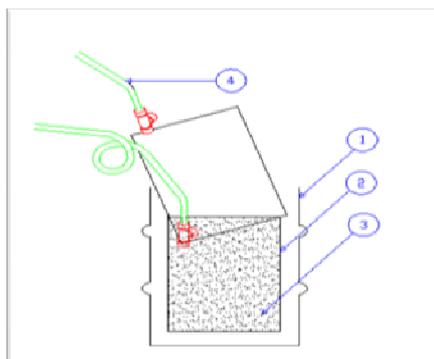


FIGURA 2: DIGESTOR TAMBOR VERTICAL

1. Tambor Externo
2. Tambor Interno
3. Desperdicios
4. Salida del gas

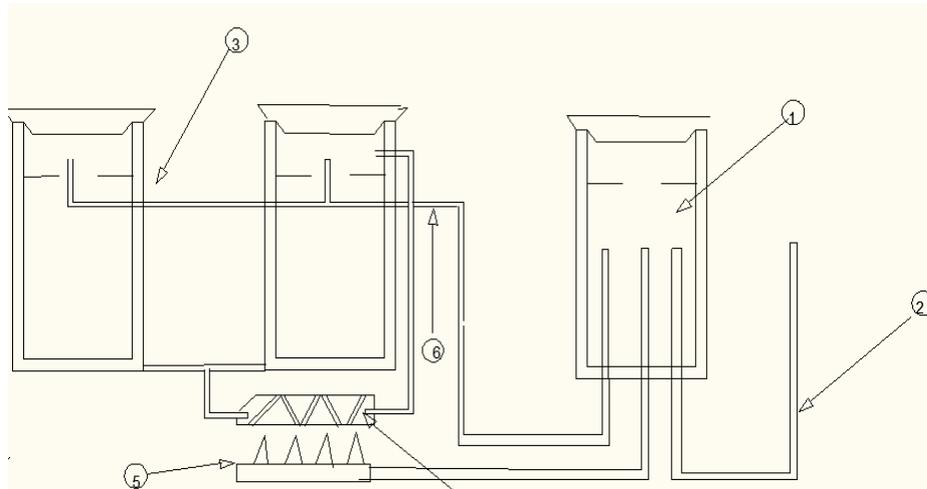


FIGURA 3: DIGESTOR TIPO BATCH

1. Gasómetro
2. Salida de gas
3. Cámara de Fermentación
4. Serpentín de agua
5. Quemador de gas
6. Recopilador de gas

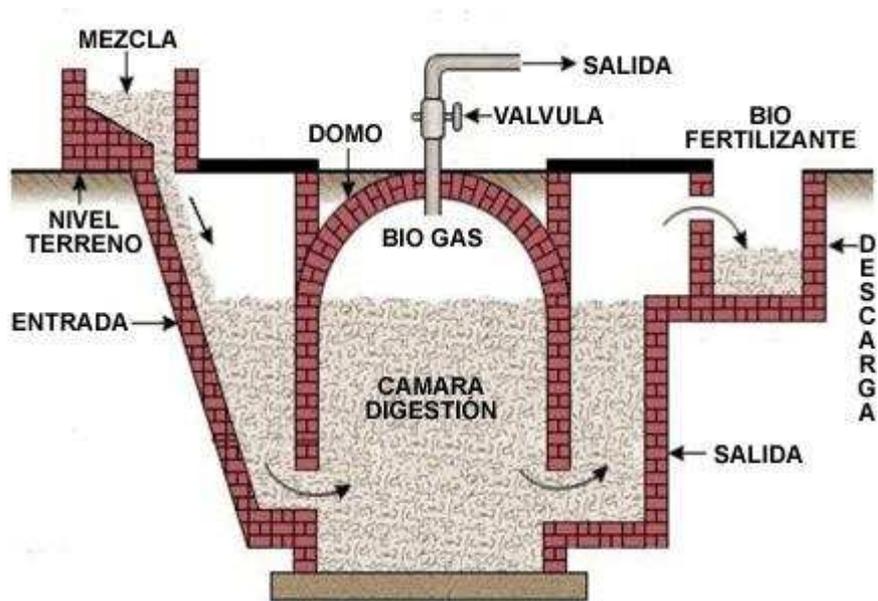


FIGURA 4: FORMA BÁSICA DE UNA UNIDAD DE BIOGÁS CHINA.

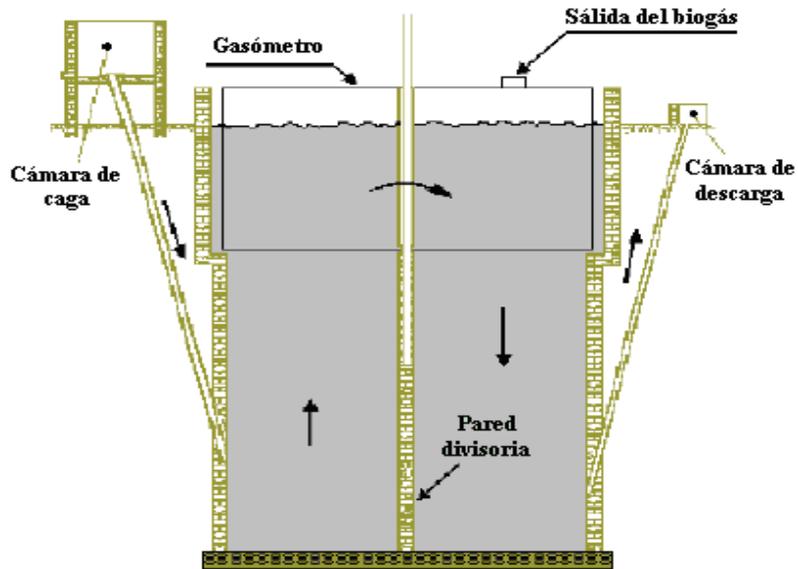


FIGURA 5: BIODIGESTORES MODELO HINDÛ

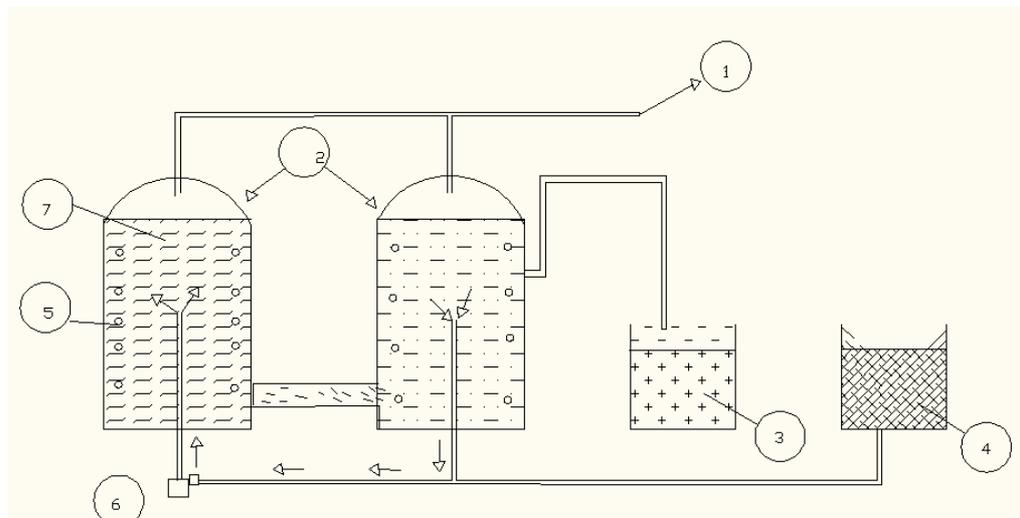


FIGURA 6: DIGESTOR PARA CLIMAS FRIOS

1. Salida de gas
2. Almacenamiento del gas.
3. Salida del bioabono
4. Tanque de carga
5. Serpentin de calor.
6. Motor-Bomba
7. Cámara de fermentación

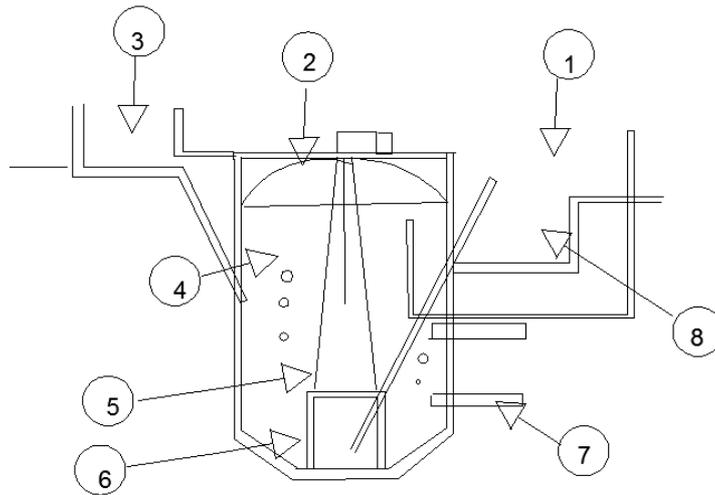


FIGURA 7: DIGESTOR RAM BUX – SING

1. Salida del gas
2. Cámara de almacenamiento de gas.
3. Tanque de carga.
4. Cámara de fermentación.
5. Agitador.
6. Soporte de columna.
7. Serpentin de calor.
8. Salida del bioabono.

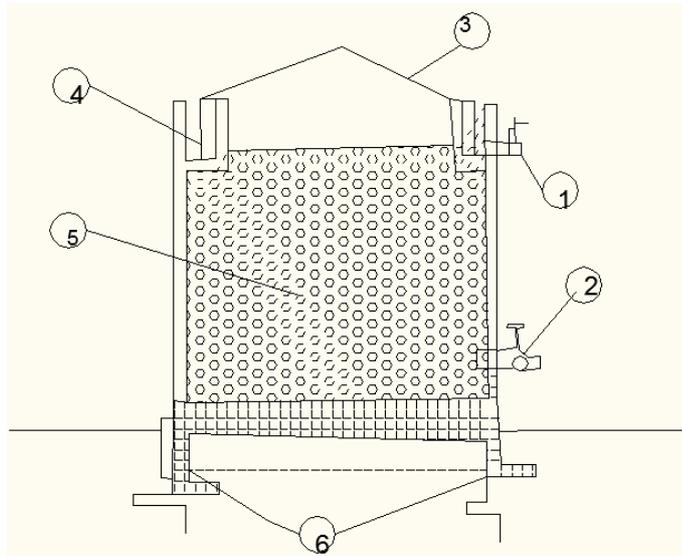


FIGURA 8: DIGESTOR OLADE GUATEMALA

1. Salida del gas.
2. Salida del bioabono.
3. Tapa metálica.
4. Sello Hidráulico.
5. Cámara de fermentación.
6. Base.

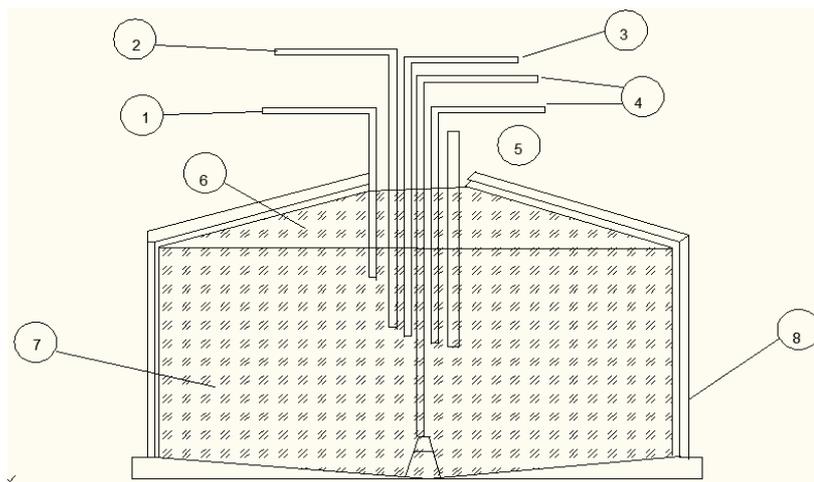


FIGURA 9: DIGESTOR DE ALTA VELOCIDAD

1. Salida del biogás.
2. Entrada de dióxido de carbono.

3. Influyente.
4. Efluyente.
5. Abertura del calentador.
6. Cámara de almacenamiento de gas.
7. Cámara de fermentación.
8. Soporte de alambre.

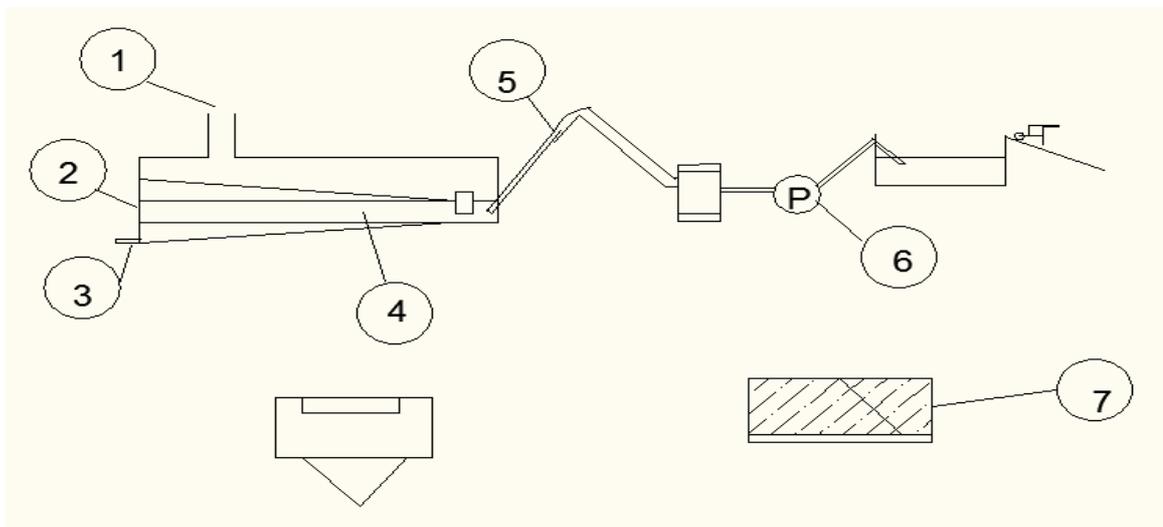


FIGURA 10: TIPO CANAL

1. Salida del gas
2. Descarga de materia orgánica no digerible
3. Salida del bioabono
4. Línea de arrastre de materia orgánica no digerible
5. Entrada de la materia orgánica
6. Bomba
7. Arrastre de nata, malla y flotador cilíndro

BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA FLEXIBLE

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992) a hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costosos. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC."

Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.



FIGURA 11: BIODIGESTOR DE POLIETILENO

1.6 CONDICIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

1.6.1 CALENTAMIENTO DE DIGESTORES

Para obtener una mayor producción de biogás es necesario realizar un calentamiento en los digestores, lo que es factible al combinar fuentes de calentamiento. Las fuentes; naturales, desechos de calor, electricidad, combustibles aislamientos, etc.

1.6.2 FUENTES NATURALES

Dentro de las fuentes naturales tenemos el medio ambiente, el calor de la tierra, el sol etc.

1.6.3 LA TEMPERATURA

Es importante tener una temperatura óptima de operación y adaptar a las condiciones ambientales, en climas fríos es esencial determinar la temperatura promedio y evitar las pérdidas de calor que se genera en el reactor.

Tal información está disponible en las estaciones meteorológicas; el clima frío afectará en las pérdidas de calor y la producción de biogás disminuye, porque se enfriará la materia orgánica en el digestor, debido a las bajas temperaturas en que se hallan expuestas.

1.6.3.1 CALOR DE LA TIERRA

Aún en áreas frías la tierra sirve como un reservorio de calor. La temperatura de la tierra a una profundidad de 1 m. rara vez esta bajo los 5 °C a menudo está arriba de los 12°C. Un conocimiento de la temperatura de la tierra ayudará a determinar si es necesario un calentamiento y así escoger la fuente y el método de calentamiento.

Cuando la temperatura del ambiente es baja, enterrado el digestor se ayudará a mantener un nivel térmico aceptable. Un suelo seco es además un buen aislante (19).

1.6.3.2 SOL

El sol es una de las principales fuentes de energía de la superficie de la tierra. La degradación anaeróbica de biomasa es la más viable opción para el uso masivo de la energía solar conectada biológicamente. El calor solar puede ser recogido directamente por el generador. El calentamiento solar se realiza utilizando colectores solares planos.

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La “comunidad El Olivo” se encuentra ubicada en el cantón Pallatanga, aquí se inició la toma de muestras de estiércol.

Para identificar el área en estudio se utiliza el método topográfico, que consiste en identificar mediante planimetría y altimetría la ubicación del área en estudio. Para la toma de datos se puede realizar mediante taquimetría o en su defecto con la utilización de un GPS que ayuda a ubicar un punto en el espacio, estos datos se pueden procesar posteriormente sea manualmente o mediante uso de un software especializado y obtener los planos correspondientes.

2.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- Por el nivel de profundidad del tipo descriptivo
- Por tipo de datos analizados es de tipo cuantitativo
- Por las condiciones de estudio es de campo y de laboratorio
- Por la utilización del conocimiento es de tipo aplicativo
- Por las medidas a realizar, experimental
- Dadas las características del estudio se usó el método experimental
- Por la rugosidad del método implementado es tecnológico

2.1.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

El sustrato que se genera en la comunidad el Olivo.- Es conocer cuanta cantidad de estiércol de ganado genera la comunidad para realizar nuestro diseño.

2.1.3 METODOLOGÍA

El siguiente diseño se lo realizó con un levantamiento de una línea base por medio de tablas de control, donde se identificó la cantidad de estiércol, lo cual será analizado para la determinación de los sólidos totales, sólidos sedimentables, etc.

2.1.4 MÉTODOS Y TÉCNICA

2.1.4.1 MUESTREO

El muestreo de los residuos sólidos se los realizó mediante el método de muestreo aleatorio simple.

El tiempo de la toma de muestras se realizó en la primera semana de abril, y con una temperatura ambiente de 22°C y la toma de las muestras se realizó por las mañanas durante seis días.

El proceso de separación de la fracción orgánica se lo realizó de forma manual. Y se utilizó una varilla de agitación para obtener una mezcla homogénea.

2.1.4.2 ANÁLISIS DE LA MATERIA ORGÁNICA

Para el análisis de la materia orgánica se utilizaron métodos gravimétricos para determinar: sólidos totales, sólidos volátiles, determinación de DBO₅ y DQO.

2.1.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA

2.1.5.1 DETERMINACIÓN DE pH

Para la determinación del pH se utilizó el 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; se utiliza el método colorimétrico con indicador

universal líquido, varillas indicadores de pH, y si es posible con el pH-metro portátil (método potenciométrico)

MATERIALES

- pH-metro
- Vaso de precipitación
- Varilla de agitación

PROCEDIMIENTO

- Tomar 1 g de muestra y diluir con agua destilada.
- Homogenizar
- Introducir el bulbo del pH-metro en la muestra.
- Esperar unos segundos a que se estabilice.

2.1.5.2 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS TOTALES

Se utiliza el método gravimétrico, la muestra es evaporada a baño de María en una cápsula tarada, luego es secada a 110°C y finalmente es pesada. El aumento en peso de la cápsula después del secamiento, respecto al peso de la misma cuando está vacía, representa el valor de los sólidos totales.

MATERIALES

- Pipeta volumétrica.
- Cápsula de porcelana.
- Baño María.
- Estufa.
- Desecador.
- Balanza Analítica.
- Pinza de crisol.

PROCEDIMIENTO

- Lavar perfectamente la cápsula.
- Secarla e introducirla en la estufa a 105°C, por el espacio de dos horas.
- Enfriar en el desecador y luego pesar la cápsula.
- Agitar vigorosamente el recipiente que mantiene en agua para que ésta se homogenice totalmente.
- Tomar 25 mL de muestra, poner en la cápsula tarada, someter a evaporación en baño de María.

CÁLCULOS

$$S.T \text{ (mg/L)} = (p_2 - p_1) \times 10^6 / g$$

Donde:

p_2 = peso de la cápsula, con el residuo seco en gramos.

p_1 = peso de la cápsula tarada en gramos.

g = muestra analizada.

2.1.5.3 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

Se utilizó el 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 ceniza corresponde al peso de sólidos volátiles.

MATERIALES

- Crisoles de porcelana
- Estufa
- Mufla
- Desecador
- Pinza de crisol
- Balanza analítica

PROCEDIMIENTO

La muestra desecada a 105°C y pesada colocar en mufla durante 4 horas o hasta la obtención de cenizas blancas.

Colocar en el desecador por 30 minutos.

Pesar y por diferencia de peso, determinar el porcentaje de sólidos volátiles.

CÁLCULOS:

$$\% S.V = (p1 - p2) \times 100$$

Donde:

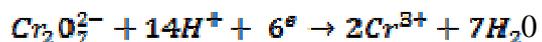
S.V= sólidos volátiles.

p1= g de sólidos totales

p2= g cenizas.

2.1.5.4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Hervir por dos horas a reflujo la muestra con dicromato de potasio (solución ácida) utilizando sulfato de plata como catalizador de la oxidación; el exceso se titula con FAS (sulfato ferroso amoniacal). Las sustancias orgánicas son oxidadas, y la cantidad de materia oxidable es proporcional al dicromato de potasio que se consume.



MATERIALES

- Un equipo de reflujo (refrigerante de bolas)
- Balones de vidrio de cuello esmerilado
- Reverbero
- Bureta

- Pipetas
- Probetas
- Espátula

PROCEDIMIENTO

- Colocar 25 mL de la muestra en el balón del equipo de reflujo
- Añadir 10mL de dicromato de potasio 0.25 N, una pequeña cantidad de sulfato de plata y núcleos de ebullición.
- Añadir lentamente 30 mL de ácido sulfúrico concentrado, mezclar todo con movimiento de rotación y añadir 10 mL de agua destilada en el refrigerante.
- Someter a reflujo en la misma forma un testigo con agua destilada junto con todos los reactivos.
- Pasada las dos horas enfriar unos minutos, lavar el refrigerante con 100 mL de agua destilada, se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- Adicionar 2-3 gotas de ferroína y se titula con solución de sulfato ferroso normalizado (0.25 N) hasta que el viraje de verde azulado pase a pardo rojizo.
- Titular también el blanco.

CÁLCULOS

Los resultados se expresan en mg/L de oxígeno consumido

$$DQO \text{ (mg/L)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{V}$$

Donde:

a= mL de sulfato utilizado en la titulación del blanco.

b= mL de sulfato utilizado en la titulación de la muestra.

N=Normalidad del sulfato.

V= Volumen de la muestra.

8000= Factor de reducción del oxígeno

2.1.5.5 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

El método se basa en la determinación del oxígeno disuelto en las muestras. La diferencia entre el contenido de oxígeno en las dos muestras antes y después del período de incubación da valor el valor de la DBO₅ y DQO, valor expresado en ppm.

Se diluye oportunamente la muestra con agua pura aireada, se divide esta dilución en tres alícuotas. Sobre la primera se determina inmediatamente el contenido de oxígeno disuelto después de haberlo conservado por cinco días a 20°C en la oscuridad.

MATERIALES:

- Balón aforado de 1000 mL con la tapa
- Pipetas graduadas y volumétricas de diferentes volúmenes
- Vaso de precipitación
- Erlenmeyer
- Bureta
- Estufa termostato a 20 °C o a temperatura ambiente
- Recipiente para la reserva de agua de dilución
- Botellas para la determinación de oxígeno disuelto (Winkler)
- Pipeta

PROCEDIMIENTO

Se debe analizar primeramente si esta muestra necesita o no de una dilución.

- En caso que se haga o no dilución, tomar 10 mL de muestra y colocar en un balón de 1000 mL.
- Colocar 2 mL de buffer pH 6.5 - 8.5
- Añadir 1 mL de solución de cloruro férrico.
- Añadir 1 mL de sulfato de magnesio o su cloruro
- Añadir 1 mL de cloruro de calcio

- Aforar 1000mL con agua aireada o burbujeada.
- Colocar en los frascos de cuello y tapa esmerilada, no importa si rebasa su capacidad, tapar.
- Siempre se debe preparar dos análisis distintos de la muestra al mismo tiempo, el frasco se titula al momento para dosificar el contenido de oxígeno al tiempo cero, según el método de Winkler.
- Los otros frascos se deben incubar a 20 °C, y en la oscuridad por el espacio de cinco días, luego se determina el oxígeno existente.
- Antes de titular las muestras anteriormente indicadas se debe añadir 1 mL de sulfato manganeso, 2 mL de solución de acida sódica. Lo que provoca la precipitación de oxígeno presente en el momento de la muestra.
- Dejar que se precipite todo por el espacio de 20 minutos.
- Disolver el precipitado con 2 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Titular con tiosulfato, hasta viraje de color de amarillo, a paja pálida donde se añade almidón y luego seguir titulando hasta transparente donde indica el punto final de la titulación.

CÁLCULOS

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{mL de muestra utilizada}}$$

Donde

a = mL de tiosulfato de sodio en la titulación antes de la incubación.

b = mL de tiosulfato de sodio gastados en la titulación después de la incubación.

N= normalidad del tiosulfato de sodio.

Estos métodos de análisis han sido tomados de “Técnicas de Laboratorio APHA “y “Métodos de Análisis AOAC

2.1.6 DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Con la información disponible se dimensiona el biodigestor utilizando las fórmulas correspondientes considerando los parámetros de diseño.

2.1.7 ELABORACIÓN DE PLANOS

Un dimensionado numérico no permite visualizar la forma que tiene el biodigestor, por lo que es importante la realización de planos, el software que se emplea con mayor frecuencia es el Autocad, el mismo que permite realizar los planos a distintas escalas para su posterior impresión.

Tanto el plano topográfico y los planos de la planta de biogás deberán estar realizados a escalas convenientes que cumplan las normas establecidas por los respectivos entes de control y la fiscalización de obras civiles como son Ministerio de obras públicas, direcciones y obras públicas de municipios consejos provinciales,etc.

CAPÍTULO III

3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL

Mediante la topografía se registro las coordenadas del lugar y las curvas de nivel que nos ayuda a determinar la pendiente del terreno, para realizar el lugar donde se va a diseñar el biodigestor. El biodigestor estará ubicado a unos 50 m de la casa.

A. TOPOGRAFÍA

Región Sierra, Provincia del Chimborazo

Coordenadas locales UTM:

Proyección: Zona 17 M

DATUM: SUDAMERICANO 1956 Psad

X: 733093

Y: 9780324

Descripción General:

Para orientación general, desarrollo de proyectos

Orografía: La topografía es irregular. Sus alturas alcanzan entre 4358 y 200 metros.

Cotas extremas: 4358 y 2000 msnm.

Hidrografía: La Quebrada Cóndor Paccha, aguas abajo forma el Río Panza y ésta a su vez forma el Río Pangor, constituye el sistema hidrográfico ubicado en la parte occidental de la carta; y el Río Llinllín con sus afluentes conforman la cuencas del oriente.

Ciudades y Poblados: Pallatanga, cabecera cantonal del cantón del mismo nombre y recintos. La Florida, La Libertad, San Francisco de Trigoloma, Panza Redonda, Lillín, Quishuar, El Olivo, Achín Rosario, Tambillo Alto, Primavera de Iñacoto y otros.

Red Vial: El eje vial Juan de Velasco-Pallatanga, consta de una carretera pavimentada de dos o más vías, caminos de verano hacia la comunidad conducen a Pallatanga, los caminos de segundo orden, llevan a diferentes recintos. (VER ANEXO I)

B. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES.

- Cálculo de la cámara de fermentación.
- Alternativas de la materia prima a utilizar, demanda, tipo, etc.
- Volumen de la cámara de carga y descarga.
- Requerimientos de materiales de construcción (infraestructuras)
- Cómputos métricos de las instalaciones, espesor de pisos, números de columnas, altura, diámetro de la cámara de fermentación, etc.

C. SELECCIÓN DEL BIODIGESTOR

PRESELECCIÓN

Tres tipos de digestores que podrían ser implementados en la comunidad el “Olivo” por las diversas ventajas que brindan y las condiciones físicas del lugar.

- Digestor de bolsa Flexible o “digestor de Bolsa”
- Digestor con gásmetro flotante sin agua salada o diseño “Hindu”
- Digestor de domo fijo o diseño “Chino”.

Para la selección del modelo del digestor; se realizó una detallada matriz de selección por cada tipo de diseño, y mediante una calificación se eligió el valor más alto de la calificación y se selecciono el tipo de digestor para el diseño.

En función de las necesidades del lugar se realizo la matriz de ponderación (tabla XI) para la elección del digestor.

TABLA X: PONDERACIÓN DE LOS FACTORES A EVALUAR LLENADO Y OPERACIÓN DE LA MATRIZ.

Factor evaluado	Comentarios	Ponderación
a.-Tipo de materia prima (estiércol)	La materia prima disponible en la finca es el estiércol de ganado vacuno y los digestores que operan con este tipo de estiércol serán los más opcionados	5
b.-Vida útil	Se desea que el digestor posea una vida útil la más larga posible (20 años) pues será difícil contar con recursos para renovar el biodigestor en mediano plazo.	15
c.- Requerimientos de área	En este aspecto tiene como ventaja que la finca cuente con suficiente espacio físico para la implementación del digestor.	5
d.-Costos	Es importante considerar aquella tecnología que sea eficaz y eficiente en la producción de biogás.	20
e.-Construcción	La construcción del digestor no debe ser compleja	15
f.-Operación y mantenimiento	Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable, además de fácil manejo para el operador y mantenimiento simple.	15
g.-Rendimiento	El digestor diseñado y posteriormente instalado debe tener un alto nivel / producción / biogás	25

Mediante esta matriz, realizamos la valoración de las siguientes matrices y escogemos la matriz de mayor puntuación para realizar este diseño.

TABLA XI: MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL “DIGESTOR DE BOLSA”

PROCESO EVALUADO : “DIGESTOR DE BOLSA”					
	A	B	C	D	E
=	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
			0=No aplica		
			1=Suficiente		
			3=Adecuado		
			5=Muy Bueno		
		Tipo de materia Prima			
1	5		5	1	5
2	15	Vida útil	1	0,2	3
3	5	Requerimientos de área	3	0,6	3
4	20	Costos	5	1	20
5	15	Construcción	5	1	3
6	15	Operación y Mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	3	0,6	15
TOTAL					70

En esta tabla se puede apreciar que el digestor tiene una aceptabilidad del 70%, lo cual indica que tiene muchos puntos a favor y podría ser considerado en el diseño.

TABLA XII: MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL DISEÑO HINDÚ'

PROCESO EVALUADO : "DISEÑO INDU"					
	A	B	C	D	E
=	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
			0=No aplica		
			1=Suficiente		
			3=Adecuado		
			5=Muy Bueno		
		Tipo de materia Prima			
1	5		5	1	5
2	10	Vida útil	5	1	10
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	1	0,2	4
5	15	Construcción	3	0,6	9
6	10	Operación y Mantenimiento	5	1	10
7	20	Rendimiento	5	1	20
					63
TOTAL	100				

Este tipo de digester tiene aspectos a favor como el tipo de materia prima y vida útil pero la construcción es muy compleja de realizar, por tal razón tiene un 63 % de aceptabilidad.

TABLA XIII: MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL DISEÑO “CHINO”

MATRIZ PARA LA DECISIÓN DEL DIGESTOR CHINO					
	A	B	C	D	E
=	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN	C/5	D*A
			0=No aplica		
			1=Suficiente		
			3=Adecuado		
			5=Muy Bueno		
		Tipo de Materia Prima	5		
1	5			1	5
2	15	Vida útil	10	1	15
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	3	0,6	12
5	15	Construcción	2	0,5	3
6	15	Operación y Mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	5	1	25
TOTAL					74

Este tipo de digestor tiene muchos puntos a favor como el tipo de materia prima y vida y su construcción no es muy compleja de realizar, por lo tanto este diseño es aceptable para realizarlo.

De los resultados de las matrices, se selecciono el diseño “Chino” es la más atractiva y favorable para el proyecto del digestor, por lo tanto este tipo de digestor es el seleccionado para el proyecto.

PLANOS DE CASA Y GALPONES

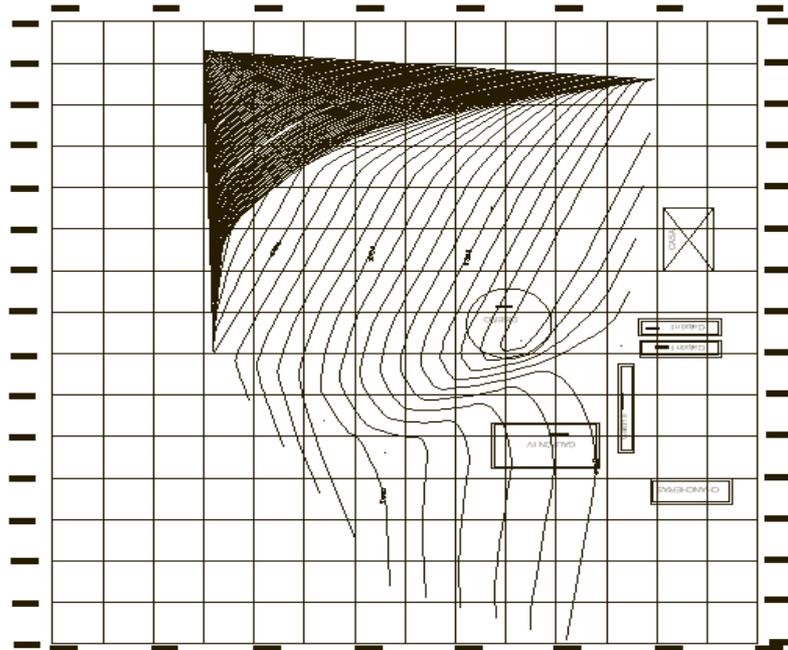


FIGURA 12: TOPOGRAFÍA DEL TERRENO Y CONSTRUCCIONES DEL LUGAR

3.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El diseño de los digestores debe responder tanto al lugar como el grado de aplicación y a la finalidad de la tecnología. Conociendo la región, la localidad, el lugar donde va a estar ubicada la planta, y en función al material de carga que se dispone y que se va a tratar.

El diseño abarca una serie de actividades que van desde la etapa preliminar hasta el cálculo de materiales y gráfica. Se utiliza la siguiente secuencia:

- A. Recolección de información de la zona de estudio y del clima para hacer uso del sistema.
- B. Precisar el objetivo, el régimen de operación y selección del tipo de digestor más factible de realizar en la zona de estudio.

3.2 SELECCIÓN DEL SITIO

Los Factores que influyen en la decisión son:

- a) Estar cerca al lugar donde el biogás pueda ser almacenado y utilizado.
- b) Por lo menos de 10 a 15 metros de distancia de algunas fuentes de agua, para evitar la contaminación.
- c) Debe estar expuesto a los rayos del sol para mantener la temperatura apropiada. (VER ANEXO I).

3.2.1 COMPONENTES DEL DIGESTOR CHINO

La siguiente figura se muestra los diferentes componentes que está formado el digestor que será dimensionado.

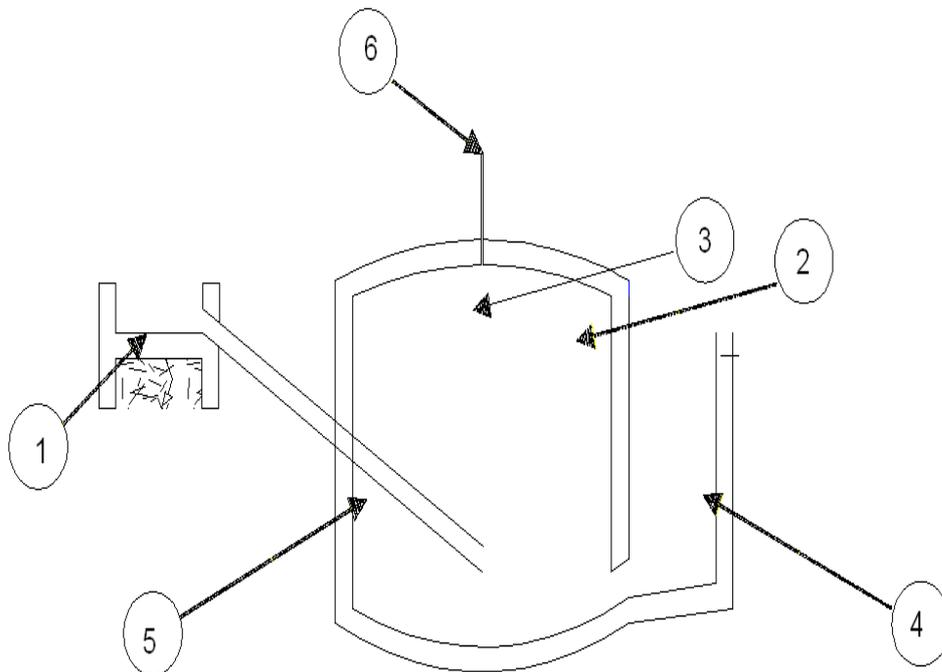


FIGURA 13 DIGESTOR SELECCION TIPO "CHINO"

- 1) Caja de entrada.
- 2) Cámara del biodigestor.
- 3) Cámara de biogás.
- 4) Caja de salida del biol
- 5) Tubería que conduce la materia prima.
- 6) Tubería que conduce el biogás a fuera de la cámara

3.2.2 CANTIDAD DE ESTIÉRCOL REQUERIDO (CE)

Para calcular la cantidad de estiércol que necesita producir 5 m³ diarios de biogás, se usa de la siguiente tabla sobre la producción de biogás y del estiércol, del ganado vacuno.

TABLA XIV: DATOS BÁSICOS DE DISEÑO- BIOGÁS DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO.

1Kg de Estiércol fresco (EF)	=	0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Estiércol fresco (EF)	=	0.8 Kg de sólido volátiles (SV)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.3 m3 de Biogás a (35 °C y Pr.Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.25 m3 de Biogás a (30°C y Pr. Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.2 m3 de Biogás a (25 °C y Pr Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.16 m3 de Biogás a (22 °C y Pr. Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.10 m3 de Biogás a (18°C y Pr. Atm)

Referencia: Larry J. Douglas, 1979.

De la tabla X se tomaron dos valores que son: el primero la equivalencia de 1 Kg de estiércol fresco a 0.20 kg de sólidos totales y el segundo es el valor correspondiente a la temperatura media de la comunidad que es 22°C: Cabe a mencionar de caracterización

de los residuos de la composición se obtuvo los análisis de sólidos totales, similares al autor Larry J. Douglas.

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

Ecuación 2

$$\text{Cantidad de Estiércol (CE)} = 5 \frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{día}} \times \frac{1\text{Kg EF}}{0.2 \text{ Kg ST}} \times \frac{1\text{Kg ST}}{0.16 \text{ m}^3 \text{ Biogás}} = 156.25 \text{Kg EF/día}$$

Esta es la cantidad de estiércol para generar 5 m³, de acuerdo a la cuantificación de la Tabla IV la cantidad de la materia prima disponible es de 165Kg /día.

3.2.2.1 CARGA DIARIA DE ESTIÉRCOL-AGUA

De acuerdo al fundamento mencionado en el capítulo anterior, la relación del agua con el estiércol, para la alimentación del digestor es de 1:1 por lo cual que **1Kg** de EF= 1 LEF, por tanto, la cantidad de mezcla es:

Ecuación 3

$$\text{Carga diaria (CD)} = \text{CE} + \text{Agua} = 156.25 \frac{\text{Kg EF}}{\text{día}} \times \frac{1\text{L}}{1\text{Kg}} + 156.25 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Carga diaria (CD)} = 312.50 \frac{\text{L mezcla}}{\text{día}}$$

$$\text{Carga diaria (CD)} = 0.3125 \text{ m}^3 \text{ de mezcla/día}$$

La relación se tomó como referencia bibliográfica de guía de diseño y manual de instalaciones de biodigestor familiares gtz Bolivia 2008.

3.3 CÁLCULOS

3.3.1 CAJA DE ENTRADA

De acuerdo a la característica del digestor la figura geométrica de esta cámara es cuadrada, la cantidad de mezcla estiércol –agua, se va adicionar en forma continua por lo que el volumen de la cámara es pequeño. Tomando esta consideración se asume las dimensiones que son: el lado de 1 m y ancho 1m y altura 1.60 m (VER ANEXO II y III)

3.3.2 CÁMARA DE DIGESTIÓN

La cámara del digestor posee una figura geométrica de un cubo, La base de la cámara es cónica, y la parte superior posee una base cilíndrica fija. (VER ANEXO IV)

3.3.3 VOLUMEN DE LA CÁMARA DE DIGESTIÓN

El volumen del biodigestor se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 4

$$V_d = CD \times T_R$$

Donde:

V_d =Volumen del digestor, (m³)

CD= Carga diaria, (Mezcla estiércol-agua/día)

Tr= Tiempo de retención. (Días)

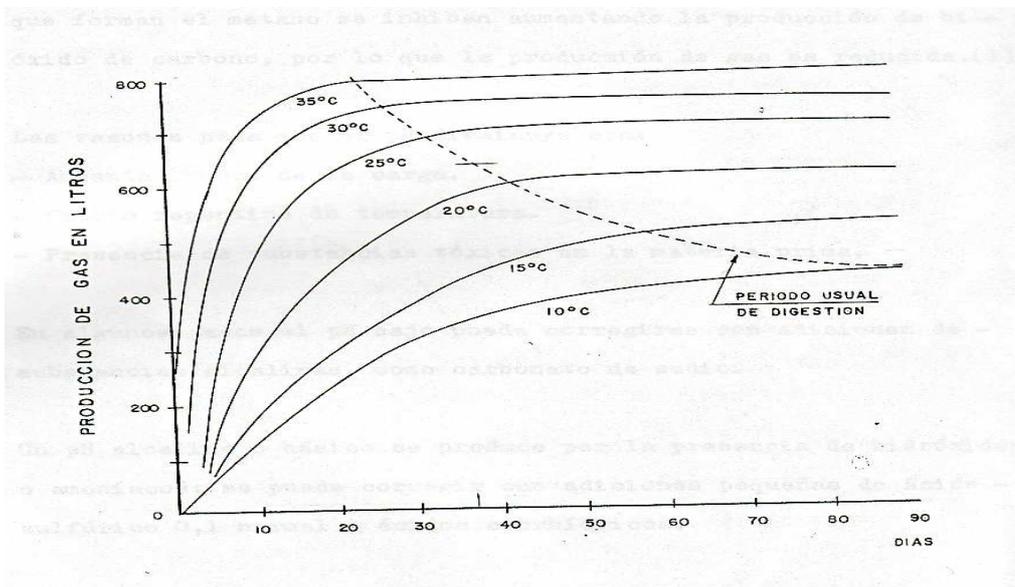
De acuerdo al gráfico No. 6, el tiempo de retención óptimo para la temperatura de 22 °C es de 30 días, aplicando la cantidad de estiércol disponible (0.3125 m³ estiércol-agua/día, se tiene.

$$Vol. Dig. = \left(0.3125 \frac{m^3 \text{ mezcla est.}}{día} \right) * 30 \text{ día}$$

$$Vol. Dig. = 9.375 \text{ m}^3$$

Por lo que, el biodigestor podrá contener un volumen total de 9.375 m^3

GRÁFICO 5 PRODUCCIÓN DE GAS DE DIFERENTES TEMPERATURAS



El sobredimensionamiento físico de la cámara tiene una figura de un cubo, asumiendo que tiene 3 m de ancho, base de 3m y con el Volumen total de 9.4 m^3 se procede a calcular la altura de la cámara mediante la siguiente ecuación (VER ANEXO IV)

Ecuación 5

$$V = b \times a \times h$$

Donde:

V = Volumen

b = base

a = área

$$h = ?$$

$$h = \frac{9.4\text{m}^3}{9\text{m}^2} = 1\text{m}$$

3.3.4 VOLUMEN DE BIOGÁS EN EL BIODIGESTOR

El Volumen de biogás que genera diariamente es de 5 m^3 .Si la presión es baja se requiere aumentarla, dejando que siga generando el biogás y al mismo tiempo almacenarlo en el biodigestor. Considerando que el tiempo de almacenamiento es de 2.6 días. El volumen requerido en la cámara del biogás es:

$$V_{biog} = 5\text{m}^3 \times 2.6\text{días}$$

$$V = 13\text{m}^3\text{ días}$$

3.3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE BIOGÁS

El dimensionamiento de la cámara de biogás se tomo a consideración el volumen de 13 m^3 y la base de 3 m, el ancho 3 m y se procede a calcular la altura de la cámara mediante la siguiente fórmula. (VER ANEXO V)

Ecuación 6

$$V = b \times a \times h$$

Donde:

$$b = 3$$

$$a = 3$$

$$h = ?$$

$$V = 13$$

El resultado será:

$$h = \frac{13 \text{ m}^3}{9 \text{ m}^2} = 1.5 \text{ m}$$

3.3.5.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE DEL BIODIGESTOR

Para el dimensionamiento de la base del cilindro se tomó en consideración, el radio 1.5 m y la altura de 0.30 m, por tanto, el volumen de la cámara se obtiene con la siguiente fórmula. (VER ANEXO VI)

Ecuación 7

$$V = \frac{\pi \times r^2 \times h}{3}$$

Donde:

V = volumen

r² = diametro

h = altura

Las dimensiones del radio (r) 1.5 m está en función de las dimensiones de la cámara del biodigestor. La altura del cilindro se determina 5- 10 % de la altura de cámara del digestor que se asume un (h) 0.30 m

Aplicando la fórmula del cono:

$$V = \frac{\pi(1.5 \text{ m})^2 \times 0.30 \text{ m}}{3}$$

V = 0.53 m³ de Mezcla – Agua

La suma del volumen de la base del biodigestor con el volumen de cámara del Biodigestor nos da el volumen total del biodigestor que se detalla en la siguiente ecuación.

$$V_t = ?$$

$$V_c = 9.4 \text{ m}^3$$

$$V_b = 13$$

$$V_{ba} = 0.53$$

Ecuación 8

$$V_t = V_c + V_b + V_{ba}$$

$$V_t = 9.4\text{m}^3 + 13\text{m}^3 + 0.53\text{m}^3$$

$$V_t = 23\text{m}^3$$

3.3.6 CAJA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR

La cantidad de flujo de entrada es similar a la cantidad de flujo de salida, es muy importante la pendiente del terreno para que el fluido de salida salga a la cámara, se diseña una figura geométrica de un cubo. El volumen de la cámara está diseñado con las siguientes medidas que son: 1 m de longitud, 1 m de base y una altura de 2m se calcula el volumen de la cámara con la siguiente ecuación. (VER ANEXO VII)

Ecuación 9

$$V = a \times b \times h$$

Donde:

$$a = 1$$

$$b = 1$$

$$V = ?$$

$$V = 1m \times 1m \times 2m$$

$$V = 2m^3$$

El volumen de cámara de salida es $2 m^3$, que almacenara el contenido de biolíquidos que sale de la cámara del biodigestor.

3.3.7 TUBERÍA QUE CONDUCE LA MATERIA PRIMA

Para la conducción de la mezcla de estiércol-agua hacia el biodigestor se ha empleado una tubería de PVC cuyo diámetro es de 20 cm para evitar el atascamiento del sistema. La instalación se visualiza en el ANEXO VIII.

3.3.8 TUBERÍA QUE CONDUCE EL BIOGÁS FUERA DEL DIGESTOR.

La tubería que permite extraer el biogás desde el biodigestor es de cobre con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada y la distancia de 1 metro. Para la conducción hacia la finca se emplea tubería de PVC cuyo diámetro es de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Se debe considerar que el tubo de cobre va aumentar el costo de instalación, lo primordial es que no debe sufrir ninguna reacción que altere el sistema de extracción y tener durabilidad.

3.3.9 PROFUNDIDAD DE LA ZANJA

Para mantener la estabilidad de la temperatura en el biodigestor se ha considerado que debe estar enterrado bajo suelo, por lo cual se realiza una remoción de tierra para el volumen de biodigestor. La tierra que rodea actúa como un aislante térmico que mantendrá caliente la cámara del biodigestor. (VER ANEXO IX)

Para calcular el volumen de tierra a remover, se realiza tomando en cuenta el tamaño del biodigestor y un espacio extra de 10 a 15 % para la facilitar la construcción. El mismo que podrá ser realizado ya sea manual o mediante maquinaria.

Por lo mencionado el espacio a remover es 2.75 m de altura, 3,25 m de base, 3,25 m de área, se calcula el volumen con la siguiente ecuación:

Ecuación 10

$$V = h \times b \times a$$

Donde:

$$V = ?$$

$$b = \text{altura}$$

$$l = \text{longitud}$$

$$a = \text{área}$$

$$V = 2.75m \times 3.25m \times 3.25m$$

El resultado será:

$$V = 29 \text{ m}^3 \text{ tierra}$$

La cantidad de tierra aumenta por la compactación asumimos un 10% más para calcular el volumen total de tierra

$$V = 29\text{m}^3 + 3 = 32\text{m}^3 \text{ de Tierra a remover}$$

3.4 RESULTADOS

A. RESUMEN DE LAS MEDIDAS PARA EL DISEÑO DEL BIODIGESTOR

Para la elaboración de planos se tomará en cuenta los valores aproximados de los resultados obtenidos en el cálculo matemático para que sea manejable su construcción.

Las dimensiones reales a aplicar son:

CUADRO I RESÚMEN DE LA CAJA DE ENTRADA DEL DIGESTOR

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DIMENSIÓN (m)
Área	a	1
Longitud de la caja de entrada	l	1
Altura de un cuadrado de la caja de entrada	h	1.6
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180

CUADRO II RESÚMEN DE LA CÁMARA DEL BIODIGESTOR

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOGIA	DIMENSIÓN (m)
Área	a	3
Base de la cámara del biodigestor	b	3
Altura del cubo de la cámara de biodigestor	m	1
Volumen de la cámara del biodigestor	m ³	9.4
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180
Cámara biogás		
Área	a	3
Base de la cámara del biodigestor	b	3
Altura del cubo de la cámara de biodigestor	m	1.5
Volumen de la cámara del biodigestor	m ³	13
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180
Base de Cámara de biodigestor		
Diámetro de la base del cilindro	r ²	1.5
Altura del cilindro de la cámara	h	0.30
Volumen de la base del cilindro	m ³	0,53
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180

CUADRO III RESUMEN DE LA CAJA DE SALIDA

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DIMENSIÓN (m)
Área	a	1
Longitud de la caja de entrada	l	1
Altura de un cuadrado de la caja de entrada	h	2
Volumen de la caja de salida	m ³	2
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180

CUADRO IV RESUMEN DE LA TUBERÍA QUE CONDUCE LA MATERIA PRIMA

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOGIA	DIMENSIÓN (m)
Diámetro de la tubería del flujo de entrada	r	0.20
Longitud de la tubería que conduce la materia prima	m	3.76

CUADRO V RESUMEN DE LA TUBERÍA QUE CONDUCE EL BIOGÁS FUERA DE LA CÁMARA

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOGIA	DIMENSIÓN (m)
Diámetro de la tubería que conduce el biogás	r	0.1461
Longitud de la tubería de cobre para la conducción del biogás	m	1

CUADRO VI RESUMEN DE LA DIMENSIONES DE LA ZANJA

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DIMENSIÓN (m)
Área	a	2.75
Longitud de la caja de entrada	l	3.25
Altura de un cuadrado de la caja de entrada	h	3.25
Volumen de la tierra removida	m³	29

Los detalles de toda la instalación se encuentran en los planos correspondientes (VER ANEXO III y IX)

B. CUANTIFICACIÓN DEL ESTIÉRCOL DISPONIBLE

Para la cuantificación del estiércol para las 24 horas del día se tomó como referencia dos cabezas de ganado, suministrando la alimentación en condiciones actuales, con la ayuda de una balanza se pesó la cantidad de estiércol en la misma que se obtuvo un valor promedio de 20 kg/día el mismo que indica que cada ganado vacuno genera estiércol en valor promedio de 10 Kg de estiércol por cada día. Sin embargo, los ganados solamente llegan a dormir en el establo durante la noche y salen a las 6:00 a.m. a las cercas donde se encuentra el alimento, por lo que sólo es posible recolectar la cantidad de estiércol generado en la noche.

La cuantificación se realizó durante una semana considerando el número de ejemplares que duermen en el establo. A continuación se ha realizado una tabla, con los valores de estiércol obtenidos.

CUADRO VII CANTIDAD DE ESTIÉRCOL DIARIO PRODUCIDO EN LA FINCA EL OLIVO 05- ABRIL DEL 2010

	DIAS					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
No. Ejemplares	30	30	29	29	31	30
Cantidad Estiércol, Kg	165	164	160	170	170	165
Estiércol/ejemplar	5.5	5.5	5.5	6	5.4	5.5
Promedio en kg de Estiércol/día	165					
Promedio de Ejemplares	30					

El cuadro muestra claramente la cuantificación diaria del estiércol producido, dando un promedio de 165 kg de estiércol. El aprovechamiento del estiércol no llega a un 100% por las razones antes mencionadas, si no solamente el estiércol recolectado en el establo que equivale a 55 % de la cantidad total.

C. CONSUMO DE ENERGÍA EN LA FINCA

La finca consume mensualmente un promedio de 4 tanques de 15 Kg GLP, el mismo que es empleado para diferentes actividades, entre ellos tenemos: Elaboración de quesos, consumo domestico, producción avícola.

D. CANTIDAD DE GLP EN m³ DE BIOGÁS

Para nuestros fines, se realiza la conversión de GLP a biogás. De acuerdo a (Larry. J. Douglas que nos da la equivalencia), cada kg de GLP equivale 2.22 m³ de biogás por lo tanto:

$$4\text{Tanques de } 15 \text{ Kg} = 4 \times (15) = 60 \text{ Kg de GLP al mes.}$$

Ecuación 11

$$\frac{60\text{Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Biogas}}{0.45 \text{ Kg GLP}} = 133.33 \text{ m}^3 \text{ de } \frac{\text{Biogás}}{\text{mensual}}$$

Los 133.33 m³biogás /mensual representa la cantidad total que la finca necesitaría para cubrir el 100% del consumo mensual de GLP.

E. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Las muestras fueron tomadas en la comunidad el olivo de acuerdo a la metodología indicada en el capítulo II y el contenido de ciertas concentraciones de estiércol y los datos obtenidos se resumen en los siguientes cuadros donde consta los valores de los 12 muestreos en diferentes fechas, horarios y también el promedio de los análisis de los sólidos totales y disueltos y además consta la temperatura tomada del sitio de cada muestreo.

CUADRO VIII PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 05-ABRIL DEL 2010.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
ph	6	5,50	5,80	8,50	7,67	8,20
S.Totales (%)	19,93	20	19,88	20	20,20	19,80
S.Disueltos (%)	8,4	7,8	8,7	8,40	7,9	8,2
DBO₅ (mg/L)	$1,62 \times 10^4$	$1,57 \times 10^4$	$1,30 \times 10^4$	$1,20 \times 10^4$	$1,40 \times 10^4$	$1,50 \times 10^4$
DQO (mg/L)	$2,4 \times 10^4$	$2,38 \times 10^4$	$2,42 \times 10^4$	$2,45 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	$2,42 \times 10^4$
T °C	22	22	22,5	21,5	22	22

Fuente: Análisis Realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la F.C.ESPOCH.

Los parámetros físicos del estiércol han variado de acuerdo al tiempo requerido para la cuantificación de estiércol que se produce (Kg estiércol/ semana), por tal motivo van bajando sus concentraciones.

CUADRO IX PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 13- ABRIL DEL 2010.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Ph	6,20	6,50	7	7,5	7,20	7
S.Totales (%)	20	19,50	19,50	19,5	19,20	19,50
S.Disueltos (%)	7,4	8	8,5	8	7,50	7
DBO₅ (mg/L)	1,52 x 10 ⁴	1,5 x 10 ⁴	1,40 x 10 ⁴	1,22 x 10 ⁴	1,30 x 10 ⁴	1,40 x 10 ⁴
DQO (mg/L)	2,3 x 10 ⁴	2,3 x 10 ⁴	2,22 x 10 ⁴	2,35 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁴	2,32 x 10 ⁴
Temperatura ° C	22,5	22	23	22	21	21,50
Humedad %	79	76	79	80	77	78

Se realizó una segunda réplica de las muestras para tener una estimación de los parámetros físicos y químicos del estiércol, en función del tiempo sus concentraciones han disminuido.

CUADRO X PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. ABRIL DEL 2010

PARÁMETROS	PROMEDIOS
pH	6.92
S.Totales (%)	19.75
S. Disueltos (%)	8.23
DBO ₅ (mg/L)	2.12 x 10 ⁴
DQO (mg/L)	35.54 x 10 ⁴
TEMPERATURA °C	22
HUMEDAD %	78.16

Según Larry J. Douglas, recomienda que para el diseño de un biodigestor el porcentaje de sólidos totales sea aproximadamente de 20 % en 1Kg de muestra. El promedio del % (19.97) obtenido en la muestra analizada es similar al mencionado por el autor.

De forma general, el estiércol fresco tiene en su entorno a un 19.97 % de sólidos totales. El rango puede variar de 13 a 20 %. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el biodigestor

3.5 PRODUCCIÓN DEL BIOABONO

Durante la fermentación se pierde una fracción de sólidos totales que envuelven al gas. Esta fracción depende de la producción específica de gas y está mencionado por el autor (Aguilar F y Botero) que comprende entre el 5 al 30 % de sólidos totales

A Continuación se determina, la cantidad de bioabono que se genera en la instalación en forma diaria de acuerdo al mencionado autor.

$$\text{Bioabono} = \text{Carga diaria (CD)} - (\text{Carga diaria (CD)}) \times \frac{\% \text{ ST}}{100}$$

$$\text{Bioabono} = 156.25 \text{ kg/día} - 156.25 \text{ kg/día} \times (0.20)$$

$$\text{Bioabono} = 125 \text{ Kg/día}$$

3.5.1 CANTIDAD DE NUTRIENTES OBTENIDOS DEL BIOABONO

La cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) del mencionado autor, obtuvieron datos que son detallados en la siguiente tabla, con los valores del estiércol biodigerido.

TABLA XV ELEMENTOS EN EL ESTIÉRCOL FRESCO Y BIODIGERIDO

Elementos	Unidades	Estiércol Fresco	Estiércol biodigerido
Nitrógeno (N)	%	1.36	0.8
Fósforo (P)	%	0.16	0.04
Potasio (K)	%	0.14	0.26
Magnesio (Mg)	%	0.15	0.04
Calcio(Ca)	%	0.43	0.08
Hierro (Fe)	mg/kg	435	72
Cobre (Co)	mg/kg	11	4
Zinc(Zn)	mg/kg	26	6

Fuente: Castillo, U tesis ing. Mecanica, Espol

Para calcular la cantidad de nutrientes que genera el bioabono, según Aguilar F y Botero, es igual al producto del porcentaje de estiércol biodigerido por la carga de estiércol que entra en la cámara que se genera diariamente.

$$\text{NITRÓGENO (N)} = (0.8\%) \times (\text{CE}) = (0.008) \times (156.25)$$

$$\text{Nitrógeno (N)} = 1.25 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Nitrógeno (N)} = 456.25 \text{ Kg/año}$$

$$\text{FÓSFORO (p)} = (0.04\%) \times (\text{CE}) = (0.0004) \times (156.25)$$

$$\text{Fósforo (P)} = 0.0624 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Fósforo (P)} = 23 \text{ Kg/año}$$

$$\text{POTASIO (K)} = (0.26\%) \times (\text{CE}) = (0.0026) \times (156.25)$$

$$\text{Potasio (K)} = 0.406 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Potasio (K)} = 148.28 \text{ Kg/año}$$

Se tomó como referencia del mencionado autor que por cada hectárea de terreno se aplica alrededor de 75 Kg de urea (37.5Kg de N), y como existen 14 hectáreas aplicadas a la agricultura esto significa que con 456 Kg N se estaría reemplazando en un 86% de uso anual de fertilizante químico.

3.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizó la Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N) de una inversión sea igual a cero. (V.A.N.=0)

Se debe tener en cuenta que para montar un biodigestor, los costos depende básicamente de la tecnología que se use en el, como también de los requerimientos de producción, teniendo presente que la implementación de un biodigestor no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales a la comunidad el Olivo.

Los costos de los materiales se estimaron en la proforma del departamento legal del R.P.CH y sobre estimación 40 % más por costos de transporte y otros. (ANEXO X)

CUADRO XI PRESUPUESTO DE LA CONTRUCCIÓN DEL DIGESTOR

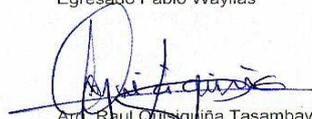
Inst. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
Obra DISEÑO de un Digestor Chino/TESIS DE GRADO
Ubic. Comunidad EL OLIVO/Cantón Pallatanga
Fecha Septiembre del 2010
Monto \$ 2.778,06 USD
TESIS DE GRADO

PRESUPUESTO

ITEM	RUBRO	U	Cantid.	P.Unit.	P. TOTAL
1	Limpieza del Terreno	m2	45	1,8	81,00
2	Desbanque y Nivelación	m3	9	10,5	94,50
3	Replanteo	m2	45	2,1	94,50
4	Excavacion Manual	m3	27	9,1	245,70
5	Desalojo de Material	m3km	27,00	0,64	17,28
6	Hormigon Ciclopeo Piedra+ H.S 180 kg/cm2 incl. Encof.	m3	0,54	170	91,80
7	Hormigon Simple 180 kg/cm2 incl. Encof.	m3	10,00	150	1500,00
8	Acero de Refuerzo/Malla Electrosoldada d=8mm	kg	170,00	3,5	595,00
9	Tubo PVC D=110mm	ml	3,76	13	48,88
10	Tubo de Cobre 1/2"	ml	1,00	15	15,00
11	Manómetro	u	1,00	28,00	28,00
12	Valvula de Seguridad	u	1,00	30	30,00
13	Llaves de Bola	u	1,00	15	15,00
14	Codos PVC 75mm	u	2,00	1,2	2,40
15	Tubo PVC D=75mm	ml	3,00	13	39,00
16	Dispositivo de Purificación del Biogas	glb	1,00	150	150,00
					0,00
					2778,06

SON : Dos mil Setecientos Setenta y ocho con 06/00 Dolares

Egresado Pablo Wayllas


Arq. Raúl Quesigüña Tasambay
R.P.CH 139 R.M. 515
Fiscalizador

Raúl E. Quesigüña
ARQUITECTO
R.P.CH: 139 R.M: 515

Los beneficios directos del uso de la biodigestión pueden ser estimados en base al uso del biogás, como una fuente alternativa a energías renovables y a la aplicación del afluyente como una sustitución de nutrientes aportados por fertilizantes químicos.

$$VAN = 5955,62 - 2778,06$$

$$VAN = 3177,56$$

Sé acepta el proyecto

TIR=?

TMAR 5%

$$VAN = \frac{1591,20}{(1,05)^1} + \frac{1591,20}{(1,05)^2} + \frac{1591,20}{(1,05)^3} + \frac{1591,20}{(1,05)^4} + \frac{1591,20}{(1,05)^5} - 2778,06$$

$$VAN = 1515,43 + 1443,26 + 1374,54 + 1246,75 - 2778,06$$

$$VAN = 4110,99$$

$$3177,56 = 4110,99$$

$$0 = 4110,99 - 3177,56$$

$$0 = 933,42$$

TMAR=20%

$$VAN = \frac{1591,20}{(1,20)^1} + \frac{1591,20}{(1,20)^2} + \frac{1591,20}{(1,20)^3} + \frac{1591,20}{(1,20)^4} + \frac{1591,20}{(1,20)^5} - 2778,06$$

$$VAN = 1326 + 1105 + 920,83 + 767,36 + 639,47 - 2778,06$$

$$VAN = 1980,6$$

$$3177,56 = 1980,6$$

$$0 = -1196,96$$

$$r - 5 = \frac{0 - 933,42}{-1196,96 - 933,42} (20-5)$$

5%	933,42
r	0
20%	1 -1196,96

$$r = 11,57\% \rightarrow TIR$$

11,57% ≥ 10,5% Realiza la inversión

3.7 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el diseño del biodigestor, se tomó en consideración, la factibilidad económica y de fácil construcción, según el Autor (FAO).

El digestor chino se adapta a la condición climática del lugar, la temperatura promedio es de 22 °C. Según Castillo las condiciones del lugar van a favorecer a la degradación del estiércol, el parámetro primordial es la cantidad de sólidos totales, que va a generar el biogás y cumplirá con la demanda de energía ver en Tabla XVI.

TABLA XVI DATOS BÁSICOS DE DISEÑO- BIOGÁS DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO.

1Kg de Estiércol fresco (EF)	=	0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Estiércol fresco (EF)	=	0.8 Kg de sólido volátiles (SV)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.3 m3 de Biogás a (35 °C y Pr.Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.25 m3 de Biogás a (30°C y Pr. Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.2 m3 de Biogás a (25 °C y Pr Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0.16 m3 de Biogás a (22 °C y Pr. Atm)
1Kg de Sólidos totales (ST)	=	0 .10 m3 de Biogás a (18°C y Pr. Atm)

Referencia: Larry J. Douglas, 1979 .Castillo, U

El diseño del biodigestor se tomó en relación al beneficio económico según el autor (Bonilla, J, 2005) (un dólar de inversión se gana un dólar setenta de producción de biogás).

El diseño del biodigestor chino es de fácil construcción, que cualquier persona con poco conocimiento podría construirlo. El rendimiento del biodigestor es de 70% de biogás según el autor (Gonzalez, J)

Para la carga estiércol-agua se tomó como referencia bibliográfica el Manual: instalaciones de biodigestores familiares gtz, Bolivia 2008. La relación del agua con el estiércol es de 1:1 por lo cual un 1 Kg de Estiércol fresco= 1 litro de agua Estiércol fresco. La relación es muy importante para la degradación de la materia prima para la generación de biogás.

$$\text{Carga diaria (CD)} = \text{CE} + \text{Agua} = 156.25 \frac{\text{Kg EF}}{\text{día}} \times \frac{1\text{L}}{1\text{Kg}} + 156.25 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Para calcular las dimensiones de la caja de entrada se tomó en consideración la cantidad de mezcla de estiércol – agua que entra al biodigestor.

Para las dimensiones de este diseño se tomó como referencia la tesis titulada Aumento de la producción de biogás del digestor de la Facultad de ingeniería Zootécnica de los ingenieros Cáceres .F .Gutiérrez.J

Se sobredimensionó la cámara tomando en consideración la base de 3 metros y el ancho de 3 metros y el volumen 9.4 m^3 que necesitaremos para el almacenamiento de biogás ya que la altura del digestor es de 1 m Según el autor (Gonzalez, J.2007) ver en el Cuadro VIII.

CUADRO XII RESÚMEN DE LA CÁMARA DEL BIODIGESTOR

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR
Área de la cámara del biodigestor	m ²	3
Base de la cámara del biodigestor	m	3
Altura del cubo de la cámara de biodigestor	m	1
Volumen de la cámara del biodigestor	m ³	9.4
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180
Cámara biogás		
Área de la cámara del biodigestor	m ²	3
Base de la cámara del biodigestor	m	3
Altura del cubo de la cámara de biodigestor	m	1.5
Volumen de la cámara del biodigestor	m ³	13
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180
Base de Cámara de biodigestor		
Diámetro de la base del cilindro	r ²	1.5
Altura del cilindro de la cámara	m	0.30
Volumen de la base del cilindro	m ³	0,53
Hormigón ciclópeo	Kg/cm ²	180

El volumen de biogás del biodigestor es de 5 m³ diario dado que la presión es baja y para aumentar la presión se tubo que dejar 2,6 días para tener un mayor volumen esta relación se tomó como referencia bibliográfica (Paguay, A)

Para el dimensionamiento de la cámara de biogás se tomó en consideración el volumen de producción de biogás 13 m³ .Para el almacenamiento del volumen de biogás se tomó en consideración al mencionado autor (Castillo, U) .Para que soporte altas presiones, con un porcentaje de seguridad 10 a 15%.

Atendiendo a la tesis realizada por Castillo, U.2009 en la cual e l radio y la altura del cilindro son calculados con un exceso 5 a 10 % de su valor real

La tubería de la entrada a la cámara del biodigestor es de 3,76 m, la tubería es de PVC lo cual minimiza el costo. A nivel del mercado solo hay tuberías de 3 y 6 m que son muy adecuados para realizar el diseño del biodigestor.

Para la salida del biogás se tomó en consideración una tubería de cobre de 1 m según el Autor (Aguilar, F) que evitará la corrosión del material y es de larga durabilidad, su diámetro es ½ pulgada y se tiene un mejor manejo de la salida del biogás. Estas dimensiones se tomó considerando el grosor del domo para poner el diámetro de tubería y los accesorios correspondientes para el transporte del biogás.

A. PARA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Mediante las caracterización Físico-química realizada de la muestra de estiércol se considero dos parámetros primordiales determino el análisis de los sólidos totales y la temperatura promedio del lugar.

CUADRO XIII PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 05-ABRIL DEL 2010.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
ph	6	5,50	5,80	8,50	7,67	8,20
S.Totales (%)	19,93	20	19,88	20	20,20	19,80
S.Disueltos (%)	8,4	7,8	8,7	8,40	7,9	8,2
DBO5 (mg/L)	1,62 x 10 ⁴	1,57 x 10 ⁴	1,30 x 10 ⁴	1,20 x 10 ⁴	1,40 x 10 ⁴	1,50 x 10 ⁴
DQO (mg/L)	2,4 x 10 ⁴	2,38 x 10 ⁴	2,42 x 10 ⁴	2,45 x 10 ⁴	2,3 x 10 ⁴	2,42 x 10 ⁴
T °C	22	22	22,5	21,5	22	22
Humedad %	77	77	80	78	80	77

Fuente: Análisis Realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la F.C.ESPOCH.

Los parámetros físicos del estiércol han variado de acuerdo al tiempo requerido para la

cuantificación de estiércol que se produce (Kg estiércol/ semana), por tal motivo van bajando sus concentraciones.

CUADRO XIV PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. 13- ABRIL DEL 2010.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Ph	6,20	6,50	7	7,5	7,20	7
S.Totales (%)	20	19,50	19,50	19,5	19,20	19,50
S.Disueltos (%)	7,4	8	8,5	8	7,50	7
DBO₅ (mg/L)	$1,52 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$	$1,40 \times 10^4$	$1,22 \times 10^4$	$1,30 \times 10^4$	$1,40 \times 10^4$
DQO (mg/L)	$2,3 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	$2,22 \times 10^4$	$2,35 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$	$2,32 \times 10^4$
Temperatura ° C	22,5	22	23	22	21	21,50
Humedad %	79	76	79	80	77	78

Fuente: Análisis Realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la F.C.ESPOCH.

De la misma manera se puede discutir que los análisis realizados por semanas se vio afectado el primer análisis un resultado más alto por tal motivo. Se realizó una segunda réplica de las muestras para tener una estimación de los parámetros físicos y químicos del estiércol.

CUADRO XV PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE ESTIÉRCOL. LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. ESPOCH. ABRIL DEL 2010

PARÁMETROS	PROMEDIOS
pH	6.92
S.Totales (%)	19.75
S. Disueltos (%)	8.23
DBO ₅ (mg/L)	1.69 x10 ⁴
DQO ₅ (mg/L)	2.80x10 ⁴
TEMPERATURA	22
°C	
HUMEDAD	78.16
%	

Según Larry J. Douglas, recomienda que para el diseño de un biodigestor el porcentaje de sólidos totales sea aproximadamente de 20 % en 1Kg de muestra. El promedio del % (19.97) obtenido en la muestra analizada es similar al mencionado por el autor.

Al igual que los sólidos totales, la presencia de sólidos se debe a la alimentación diaria del ganado vacuno. A mayor cantidad de sólidos totales mayor producción de biogás.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Se diseñó satisfactoriamente el biodigestor Chino Anaeróbico para el aprovechamiento de estiércol Vacuno producido en la comunidad el Olivo. La materia prima posee concentraciones óptimas para el diseño, y producción de biogás.
2. El análisis Físico-Químico del estiércol dio los siguientes resultados: Sólidos totales 20 %, promedio DBO₅ 1.69×10^4 mg/L, promedio DQO 2.80×10^4 mg/L el porcentaje de humedad 78.16% en un Kg de estiércol.
3. La finca genera 156,25 Kg /día de estiércol la cual produce 5 m³ biogas/día; Cantidad que va a satisfacer la demanda de energía de la finca.
4. El biorreactor se diseñó con las siguientes especificaciones: La cámara de biogás es lado, 3m y la base 3m altura, 2.5m, obteniéndose un volumen total de 23 m³
5. El presupuesto requerido para la construcción del biodigestor es de 2.778 USD. y realizando la factibilidad económica se obtuvo la tasa interna de retorno $r = 11,57\% \rightarrow TIR$ y el valor Anual Neto = 3177.56 ; Lo cual indica que es económicamente fiable.
6. El beneficio económico puede ser estimado en base al uso de biogás. La materia prima para que genere el biogás da subproductos como el biol y abonos ricos en nutrientes N, P, K. La generación de biogas permite aprovechar todos los residuos contaminantes que minimiza la contaminación ambiental de efluentes y menos emisiones de gases que contaminan el ambiente. La aplicación del afluente reemplaza a la compra de abonos inorgánicos.

4.2 RECOMENDACIONES

Es necesario mantener bien limpio el establo para obtener el 100% del estiércol producido sin que este este contaminado.

CAPÍTULO VII

5 BIBLIOGRAFIA

1. **APHA, AWWA, WPCF**, (Comité Editorial Conjunto). Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, Madrid-España, Díaz de Santos, 1999. pp.2240, 2540, 4500, 5210,5220.
2. **ARIAS, R** Difusión de la tecnología del Biogás Corporación Autónoma Regional del Cauca. (Colombia).Volumen (II), pp 16-24. 1982.
3. **BONILLA JAVIER**. Producción de Electricidad con Biogás. Instituto Costarricense de Electricidad. (Costa Rica).Volumen (IV). pp. 21-42. 2005.
4. **CASTILLO, U**.Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luis de las Mercedes del Cantón las Naves de la Provincia de Bolívar (Tesis) (ing Mec.).Guayaquil.Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Mecánica y Ciencias de Producción. 2009,pp.13, 19, 35,40-65,78
5. **CARRILLO, L**, Energía de Biomasa Jujuy. (Argentina).Volumen. (III). pp 19-29. 1986.
6. **CÁCERES, F. GUTIEREZ, J**.Aumento de la producción de biogás del digestor de la Facultad de Ingeniería Zootécnica. (Tesis) (Ing. Mec.).Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. 1985. pp.2-21.
7. **CRITERIO, I. HERRERA, E**. Aprovechamiento energético de los gases producidos por la descomposición Anaerobia en las aguas negras. (Tesis)(Ing. Mec.).Valencia. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. 1977. pp 23-67.

- 8. DIRECCIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS.** Ministerio de Energía y Minas. Construcción y Mantenimiento de Biodigestor. (Ecuador).Volumen (II). pp.19-54. 1998.
- 9. FUNDACIÓN HÁBITAT.** Biodigestor. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizante. (Colombia.).Volumen (II). pp. 7-23. 2008.
- 10. FAO** Reciclaje de materias orgánicas y Biogás. Una experiencia en China. (Chile).Volumen. (II y III). pp 8-23. 1986.
- 11. FAO** Estudio Potencial bioenergética de desechos agroindustriales y agrícolas. Taller sobre biogás y otras fuentes alternas de energía en el medio rural. (Colombia).Volumen (II). pp 12-25. 1986
- 12. GARCIA IBARRA, P.L.** Tecnologías Energéticas. Impacto Ambiental. (España).Volumen (II). .pp. 413-431. 2001.
- 13. GUEVARA, A** Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestor Anaeróbicos Rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (Perú).Volumen (II). pp 12-56. 1996.
- 14. GONZALEZ,J.**Diseño y Estudio Económico Preliminar de una Planta Productora de Biogás Utilizando Residuos Orgánicos de Ganado Vacuno, (Ingeniería)(Ing.Ambiental).Colombia.Universidad de Colombia,Facultad de Ciencias. 2007, pp.133-142.

15. **HILBERT, J.** Manual para la producción de Biogás. Cautelar-España, Instituto de Ingeniería Rural, 2004. pp. 1-24.

16. **HERRERO, MARTI.J.** Biodigestor familiares: Guía de diseño y manual de instalación. Gtz. Energía. (Bolivia) pp. 25,27-45. 2008

17. **INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA. (INE)** Memorias del primer curso Teórico práctico sobre construcciones de Biodigestor. (Ecuador). pp 12-45. 1982.

18. **ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGIA (OLADE)** Biogás. Manual para el promotor de la tecnología. (Mexico).Volumen (II), pp.3-35. 1981

19. **PAGUAY, A.**Proyecto de factibilidad para comprimir biogás. (Tesis)(Ing. Mec.) Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Mecánica. 1989, pp.2-6.

20. **LARA, J.**Obtención de biogás a partir de los residuos sólidos de Riobamba. (Tesis)(Dr.Químico).Riobamba.Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias. 2006, pp.15-34.

5.1 BIBLIOGRAFÍA INTERNET

1. Biodigestores, la otra solución para el estiércol.

<http://www.proteger.org.ar/doc605.html>

2009-04-12

2. Biogás

<http://www.textoscientificos.com/energía/biogás>.

2009-05-04

3. Digestión Anaerobia

http://www.eco-gel.com/digestion_anaerobia.htm

2009-05-17

4. El Sector Alemán del Biogás. Deutsch

<http://www.renewables-made-in-germany.com/es/biogás/>

2009- 06-07

5. En la ruta del biogás. PEÑA, Jaime.

<http://www.3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd>

2009- 06-07

6. La Biomasa

<http://medioambiente.geoscopio.com/medioambiente/temas/>

2009-07-10

7. Los Residuos Urbanos y el Biogás

<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/ Los residuos urbanos y el biogás>

2009-07-10

**8. Utilización del biogás para la generación de electricidad. Zapata Álvaro
Fundación Cipa-**

<http://www.cipav.org.co/cipav/resrch/energy/alvaro1.htm>

2009-07-10

ANEXOS