



"D-6763"

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"UTILIZACION DE RESIDUOS AGRICOLAS COMO MATERIA PRIMA
EN LA GENERACION DE BIO - GAS".

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

WALTER SIGIFREDO GONZALEZ CHONG

GUAYAQUIL - ECUADOR

1982

A G R A D E C I M I E N T O

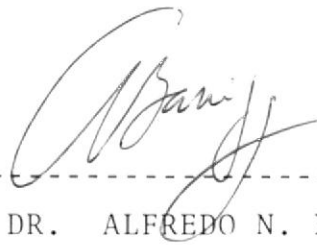
Al DR. ALFREDO BARRIGA R.,
Director de Tesis, por su ayuda
y colaboración para la real
ización de este trabajo.

Al Dr. RAM BUX SING, por su
asesoramiento.

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MIS HERMANAS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alfredo N. Barriga R.', is positioned above a horizontal dashed line.


DR. ALFREDO N. BARRIGA R.

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).



WALTER SIGIFREDO GONZALEZ CHONG

RESUMEN

Se presenta un estudio de conversión de energía almacenada en residuos orgánicos, especialmente en residuos agrícolas, por medio de la tecnología de fermentación anaeróbica (en ausencia del oxígeno). Se consigue mediante este proceso - un biogas con valores típicos que van de 45-73% de metano dependiendo del residuo empleado. La materia procesada de acuerdo a la Bibliografía consultada es un excelente bio-abono mejorado.

Las pruebas experimentales se realizaron en la batería de minidigestores tipo tanda construída en los patios de la ESPOL, se utilizaron residuos vegetales tales como:

- Cáscaras de habas serranas (vicia faba).
- Cáscaras de arvejas . (Pisum sativum).
- Cisco de café seco (coffea arabica,1).
- Tamo de arroz (oriza sativa,1).
- Hierba cortada

- Excremento de ganado vacuno para mejorar propiedades y establecer comparación de producción.

Se establece de todos los residuos agrícolas nombrados anteriormente que las cáscaras de vicia faba y pisum sativum, 1, en las condiciones utilizadas presenta la mejor productividad con 45 % de metano. El biogas producido se puede usar para alumbrado y calentamiento, como lo demuestran, las tesis de grado de Larco (12) y Villacres (19).

Por lo general la tecnología es aplicable a zonas rurales por la necesaria utilización del bioabono mejorado que resulta de la materia procesada, como también por los beneficios sociales que genera.

INDICE GENERAL

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XIV
INDICE DE TABLAS -----	XVII
INTRODUCCION -----	21
CAPITULO I	
TECNOLOGIA DE LA FERMENTACION -----	25
1.1. DIGESTION AEROBICA -----	25
1.2. DIGESTION ANAEROBICA -----	25
1.2.1. Microbiología y sustancias de la I Et <u>a</u> - pa -----	30
1.2.2. Sustancias y Microbiología de la II Et <u>a</u> - pa: Producción de ácidos-----	33
1.2.3. Sustancias y Microbiología de la III Et <u>a</u> - pa: Producción de Metano -----	34
1.3. DIGESTORES -----	39
1.3.1. Características Generales de los Dige- tores -----	39

1.3.2. Operación de los digestores -----	41
1.4. TIPOS DE DIGESTORES -----	43
1.4.1. Digestor contínuo -----	44
1.4.2. Digestor semicontínuo -----	44
1.4.3. Digestor Tanda -----	46
1.5. SELECCION DE DIGESTORES -----	46
1.6. MATERIA PRIMA DE LOS DIGESTORES -----	47
1.6.1. Tipos de materia prima -----	47
1.6.1.1. Residuos Agrícolas -----	48
1.6.1.2. Desechos orgánicos de industrias	52
1.6.1.3. Mezclas de productos vegetales-	52
1.6.1.4. Materiales de origen animal----	53
1.6.1.5. Desechos urbanos -----	54

CAPITULO II

CLASE Y SELECCION DE TIPO DE PROCESO-----	56
2.1. PROCESO CONTINUO -----	56
2.2. PROCESO TANDA -----	56
2.2.1. Desarrollo histórico y tecnología del - proceso tanda-----	57
2.3. PREPROCESAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA -----	60
2.3.1. Método del compostage -----	60
2.4. VENTAJAS DEL USO DE INOCULANTES -----	63
2.5. SELECCION DEL PROCESO A UTILIZARSE -----	64

CAPITULO III

PARAMETROS PRINCIPALES EN LA PRODUCCION DEL DIGES	
TOR -----	65
3.1. PARAMETROS DE COMPOSICION -----	65
3.1.1. Relación C:N.-----	66
3.1.2. Dilución -----	76
3.1.3. Control del PH -----	79
3.1.3.1. Cálculo de la relación C:N.-	
3.2. PARAMETROS FISICOS -----	83
3.2.1. Temperatura -----	83
3.2.1.1. Rango mesofílico -----	85
3.2.1.2. Rango termofílico -----	85
3.2.2. Presión -----	92
3.2.3. Tamaño del residuo -----	96
3.3. PARAMETROS OPERACIONALES -----	98
3.3.1. Porcentaje de Sólidos -----	98
3.3.2. Tipo de operación -----	100
3.3.2.1. Operación en digestores por	
lotes -----	101
3.3.2.2. Operación en digestores de	
regimen semicontinuo -----	102
3.3.2.3. Digestores tipo Hindú -----	102
3.3.2.4. Digestores tipo Chino -----	106

	<u>PAGS</u>
3.3.2.5. Digestores horizontales de despla zamiento -----	109
3.3.2.6. Digestores de regimen continuo---	112
3.3.2.7. Otros tipos de digestores -----	113
3.3.3. Tiempo de residencia (T.R.)-----	114
3.3.4. Agitación -----	117
3.3.5. Producción de biogas -----	121
3.4. OTROS PARAMETROS -----	134
3.4.1. Materiales tóxicos -----	135
3.4.2. Crecimiento bacteriano -----	136
3.4.2.1. Ecuación de Monod -----	137
3.4.3. Nivel de nutriente -----	140
3.4.4. Demanda de oxígeno biológico (B.O.D.)-----	142
3.4.5. Demanda de oxígeno químico (C.O.D.)-----	143
3.5. DESCRIPCION DEL DIGESTOR EXPERIMENTAL -----	143
3.5.1. Sumario de especificaciones de batería de minidigestores -----	150
 CAPITULO IV	
PRUEBAS EXPERIMENTALES -----	151
4.1. CARGA DEL DIGESTOR -----	151
4.1.1. Carga de batería de minidigestores -----	153
4.2. MEDICIONES DE PARAMETROS QUE AFECTAN LA DIGESTION	155

4.3. PRODUCCION DEL BIOGAS -----	155
4.3.1. Composición y cantidad del gas -----	156
4.3.2. Propiedades del gas -----	157
4.3.3. Transmisión, almacenaje y distribución	157

CAPITULO V

EVALUACION DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS-----	159
5.1. RESULTADOS -----	159
5.2. ANALISIS DE RESULTADOS -----	171
5.3. USOS DEL BIOGAS -----	181
CONCLUSIONES EXPERIMENTALES -----	183

CAPITULO VI

DISEÑO GLOBAL DE UNA PLANTA DE BIOGAS-----	186
6.1. PARAMETROS -----	186
6.1.1. Requerimientos generales para diseñar un digestor -----	187
6.1.1.1. Aislamiento térmico de diges <u>u</u> tores -----	199
6.1.2. Consideraciones de diseño independien <u>u</u> te del tamaño -----	219
6.2. COSTOS -----	216
6.2.1. Cálculo de costos de beneficios-----	217

6.2.2. Cálculo de costos de operación y man	
tenimiento -----	218
6.2.3. Costo Neto ahorrado por año -----	221
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	224
APENDICES -----	229
BIBLIOGRAFIA -----	258

INDICE DE FIGURAS

FIG.		PAG.
1.1.	FERMENTACION ANAEROBICA CON USOS DE DESECHOS ORGANICOS-----	27
1.2.	ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA-----	29
1.3.	ROMPIMIENTO BIOLOGICO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS EN EL DIGESTOR -----	38
1.4.	DIGESTOR DE BIOGAS CONVENCIONAL-----	42
1.5.	ESQUEMA DE UN DIGESTOR CONTINUO-----	45
2.1.	DIGESTOR TIPO OLADE GUATEMALA-----	61
3.1.	TIPOS DE NITROGENOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES CLASES DE EXCREMENTO -----	71
3.2.	PROPIEDADES DEL EXCREMENTO DE POLLO-----	78
3.3.	PROCESO DE DIGESTION DE SOLIDOS ORGANICOS---	81
3.4.	ESQUEMA DE UN MANOMETRO DE AGUA -----	95
3.5.	DIGESTOR TIPO HINDU DE 4m ³ DE CAPACIDAD----	103
3.6.	DIGESTOR TIPO CHINO -----	104
3.7.	DIGESTORES HORIZONTALES DE DESPLAZAMIENTO---	111
3.8.	PRODUCCION DE GAS A DIFERENTES TEMPERATURAS-	118
3.9.	CONTENIDO DEL DIGESTOR ESTRATIFICADO POR AUSENCIA DE AGITACION -----	120

FIG.		PAG.
3.10.	CURVA DE CRECIMIENTO EN LOTES DE SEIS FASES	138
3.11.	ECUACION DE MONOD-----	141
3.12.	PLANTA BIOGAS PARA RESIDUOS AGRICOLAS-----	145
3.13.	PRINCIPALES MEDIDAS DE LA BATERIA DE MINIDI GESTORES -----	146
3.14.	VISTA FRONTAL DE BATERIA MINIDIGESTORES----	147
3.15.	VISTA LATERAL DE BATERIA DE MINIDIGESTORES-	147
3.16.	VISTA INTERNA DE UN MINIDIGESTOR-----	148
3.17.	TAPA METALICA -----	148
4.1.	MINIDIGESTORES DE PLASTICOS -----	152
5.1.	COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y PRODUCCION DEL MINIDIGESTOR CON CASCARAS DE HABAS SERRANAS Y ARVEJITAS-----	162
5.2.	COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y PRODUCCION Vs. TIEMPO DEL MINIDIGESTOR CON - GANADO VACUNO-----	163
5.3.	COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCION Y TEMPERATU- RA Vs. TIEMPO PARA EL MINIDIGESTOR CON TAMO DE ARROZ -----	164
5.4.	DATOS EXPERIMENTALES DE PRODUCCION Y TEMPERA TURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO DEL MINIDIGESTOR - CON CISCO DE CAFE (83.5 % HUMEDAD)-----	165
5.5.	DATOS EXPERIMENTALES DE PRODUCCION Y TEMPERA TURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO DEL DIGESTOR CON CISCO DE CAFE (61 % HUMEDAD)-----	166

FIG.		PAG.
5.6.	DATOS EXPERIMENTALES DE PRODUCCION Y TEMPERATURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO DEL MINIDIGESTOR CON HABAS SERRANAS-----	167
5.7.	PRODUCCION TOTAL (LITROS) DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS UTILIZADOS EN LA BATERIA DE MINIDIGESTORES -----	168
6.1.	TEMPERATURA RELACIONADAS EN UNA PLANTA DE BIOGAS -----	202
6.2.	DETALLES DE LAS PAREDES DE UN MINIDIGESTOR-----	208
A-1	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA DE GUAYAQUIL AÑOS 1979, 1980, 1981 -----	251
A-2	TEMPERATURA INTERNA DE MINIDIGESTORES Y TEMPERATURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO (Para el día 31-10-82).-----	252

INDICE DE TABLAS

Nº		PAG.
1.1.	VENTAJA Y DESVENTAJAS DE LA FERMENTACION ANAEROBICA -----	31
1.2.	COMPOSICION QUIMICA DE DESECHOS DE PLANTAS -----	49
1.3.	COEFICIENTES RESIDUOS PARA DESECHOS VEGETALES -----	51
1.4.	PRODUCCION Y COMPOSICION DE EXCREMENTO DE ORIGEN ANIMAL -----	55
3.1.	VALORES DE CARBONO Y NITROGENO DE DIFERENTES DESECHOS ORGANICOS -----	73
3.2.	DATOS PROMEDIOS SOBRE EL CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES DE DIVERSOS DESECHOS-----	100
3.3.	COMPOSICION DEL BIOGAS -----	122
3.4.	PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL METANO	124
3.5.	TEMPERATURAS Y PRESIONES CRITICAS PARA LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES DEL BIOGAS--	125
3.6.	PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE VARIOS DESECHOS -----	127

Nº		PAG.
3.7.	PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE DESECHOS ANI <u>MALES Y HUMANO</u> -----	128
3.8.	PODER CALORIFICO DEL BIOGAS Y OTROS GASES COM <u>BUSTIBLES</u> -----	131
3.9.	CALCULO DE DOS BENEFICIOS DE LA DIGESTION ANA <u>EROBICA A PARTIR DE EXCREMENTO VACUNO</u> -----	133
3.10.	PRODUCCION TIPICA DE DIGESTORES COMUNES DE ES <u>TIERCOL VACUNO</u> -----	134
5.1.	DATOS INICIALES DE CARGA DE LOS MINIDIGESTORES	169
5.2.	PRODUCCION DE LA BATERIA DE MINIDIGESTORES---	170
6.1.	ANALISIS DE COSTO DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE UN DIGESTOR DE 10 m ³ -----	223
A.1	TEMPERATURA AMBIENTAL DE GUAYAQUIL -----	229
A.2.	TEMPERATURA INTERNA DE MINIDIGESTORES -----	234
A.3.	MEDICIONES DIARIAS DE PARAMETROS PARA MINIDI- DIGESTOR CON LA MEZCLA DE CASCARAS DE ARVEJI- TAS Y HABAS SERRANAS -----	235
A.4.	VALORES DIARIOS DE PARAMETROS PARA EL MINIDI- GESTOR CON CASCARA DE HABAS SERRANAS -----	237
A.5.	RESULTADOS DE PARAMETROS MEDIDOS EN EL MINIDI <u>GESTOR CON ESTIERCOL DE GANADO VACUNO</u> -----	238
A.6.	RESULTADOS DE PARAMETROS MEDIDOS EN EL MINIDI <u>GESTOR CON TAMO DE ARROZ</u> -----	239

Nº		PAG
A.7.	RESULTADOS DE PARAMETROS MEDIDOS CON CISCO DE CAFE CON 77.0 % HUMEDAD 12.28 Kg.DE S.T.-----	240
A.8.	RESULTADOS DE MEDICIONES DE PARAMETROS EN EL MINIDIGESTOR CON CISCO DE CAFE, APROXIMADAMENTE AL INICIO 61.20 % HUMEDAD y 13.2 Kg.DE S.T.	242
A.9.	POTENCIAL DE PRODUCCION ENERGETICA A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO EN ECUADOR-----	244
A.10.	GENERACION DE BIOGAS PARA ESTIERCOL-----	245
A.11.	ANALISIS DE EFLUENTES Y ESTIERCOL VACUNOS---	246
A.12.	PRODUCCION DE ALGUNOS PRODUCTOS AGRICOLAS----	247
A.13.	POTENCIAL DE PRODUCCION ANUAL DE BIOGAS A PARTIR DE ALGUNOS RESIDUOS AGRICOLAS-----	248
A.14.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA EN GUAYAQUIL	249
A.15.	PODER CALORIFICO DEL BIOGAS CON RESPECTO A OTROS COMBUSTIBLES Y CONSUMO PARA UNA FAMILIA DE CINCO MIEMBROS-----	250
B.1.	COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE BIOGAS 10 m ³ DE CAMARA-----	253
B.2.	COMPUTO DEL FACTOR INCREMENTO DE UN PARAMETRO AL PASO DE LOS AÑOS -----	259
B.3.	DISTRIBUCION DE LAS HORAS-HOMBRE EN LA CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR DE 10 m ³ -----	255
B.4.	ANALISIS DE COSTO DE UNA PLANTA DE BIOGAS DE 10 m ³ DE CAMARA -----	256

Nº

PAG.

B.5. FLUJO DE FONDO CORRIENTE PARA UN DIGESTOR QUE
GENERA 4 m³ BIOGAS/DIA -----

257

INTRODUCCION

Luego de una crisis energética en 1.973, caracterizada por la limitación en el suministro de energía convencional (Petróleo y combustibles fósiles), se consideró pertinente dar impulso al desarrollo y utilización de fuentes renovables y no convencionales de energía. La principal consecuencia de la crisis de energía fue la visualización de la vulnerabilidad de los países importadores también a la continuidad de la dependencia del petróleo como también a arbitrio en la fijación unilateral de los precios.

Lo anterior ha motivado que aumente la práctica tradicional de quemar leña y desperdicios agrícolas para satisfacer sus necesidades energéticas. Sin embargo esta forma de obtener energía no es una solución adecuada porque conduce a la deforestación y al deterioro de los suelos de cultivo pues al quemarse los desperdicios agrícolas no se restituyen los nutrientes que contienen.

En la búsqueda de posibles soluciones dentro de la ener

gía renovables se está utilizando lo "BIOMASA", sin esperarse que esta sea la solución general y el completo al problema energético mundial pero se cree que tendrá participación considerable en la disminución de los - efectos de ese problema, y contribuirá a superarlo en los países tercermundistas, en donde el aumento de la producción de la bioenergía se está convirtiendo en un imperativo.

Una de las soluciones capaces de ayudar a resolver en parte esta situación está en la planta de biogas, las que pueden operar a partir de casi toda la materia orgánica, especialmente de residuos agrícolas y basuras, así como desechos de animales y humanos.

Por medio de la fermentación anaeróbica (en ausencia - de oxígeno), se obtiene gas combustible (60% metano) y fertilizante del efluente, resolviendo al mismo tiempo serios problemas de contaminación ambientales al convertir desechos que hacen proliferar larvas y moscas - en energía y recursos útiles.

Por otra parte, estas instalaciones tienen la ventaja

de adaptarse a las condiciones del medio rural, pudiendo ser sumamente sencillo en su construcción, operación y mantenimiento.

La "barata tecnología" de la biometanación servirá para ayudar a muchos de los 90 millones de habitantes del área rural en América Latina, en donde existe importante carencia de disponibilidad de energía útil para fines domésticos y agroindustriales.

CAPITULO I

TECNOLOGIA DE LA FERMENTACION

En la biósfera la materia orgánica, al morir se descompone con las acciones del medio físico y otros organismos. Anaeróbia y Aeróbia son las formas más generalizadas de degradación. La segunda que es la más común en la actualidad - por las prácticas humanas que la propician, es una amenaza de contaminación y desperdicio.

Bajo el nombre de fermentaciones se designan todas las transformaciones (degradaciones y cambios químicos) de sustancias orgánicas que tienen su origen en la actividad de microorganismos. Estos agentes de la fermentación pertenecen al grupo de los hongos y dentro de este a los subgrupos de los esquizomicetos (bacterias) y de los eumicetos (levaduras y mohos).

Al grupo de las bacterias se deben las fermentaciones anaeró

róbicas, y aeróbicas.

Al de eumicetos, las fermentaciones alcohólicas (vinícolas y cerveceras) y la glicéricas producidas por levaduras.

Las bacterias son organismos monocelulares que no poseen clorofila y por esto asimilan compuestos orgánicos. Se distinguen por su forma que son muy variadas y visibles al microscopio.

1.1. DIGESTION AEROBICA

Es aquella que se realiza en presencia de oxígeno y cuyos residuos son CO_2 , H_2 , NH_3 y calor. Este tipo de descomposición se da en pisos forestales.

Proporciona un medio de contaminación y de transmisión de enfermedades por reproducción de moscas, - otros insectos y roedores en general.

1.2. DIGESTION ANAEROBICA

La descomposición anaeróbica por el contrario se proo

duce en ausencia de oxígeno y sus residuos son: metano; bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, agua y un poco de calor. En esta última digestión es, que se basa la producción del biogas. La figura 1.1. muestra un sistema con un proceso general. Nótese que allí se establece la materia prima que es tratada en el digestor, equipo en que se desarrolla el proceso, y lo que se genera.

Es un proceso bioquímico complejo que se desenvuelve en tres etapas utilizando en cada una un grupo específico de microorganismos.

Observando el gráfico 1.2., podemos notar que en la primera etapa de solubilización, la materia orgánica cruda formada por polímeros (proteínas complejas grasas y carbohidratos principalmente) es hidrolizada por la acción de enzimas en compuestos simples y solubles; en la segunda etapa, de acidogénesis, los compuestos simples y solubles de la primera etapa siguen un proceso de fermentación que los convierte por óxido-reducción, en ácidos simples de cadena corta mediante la acción de bacterias formadoras de

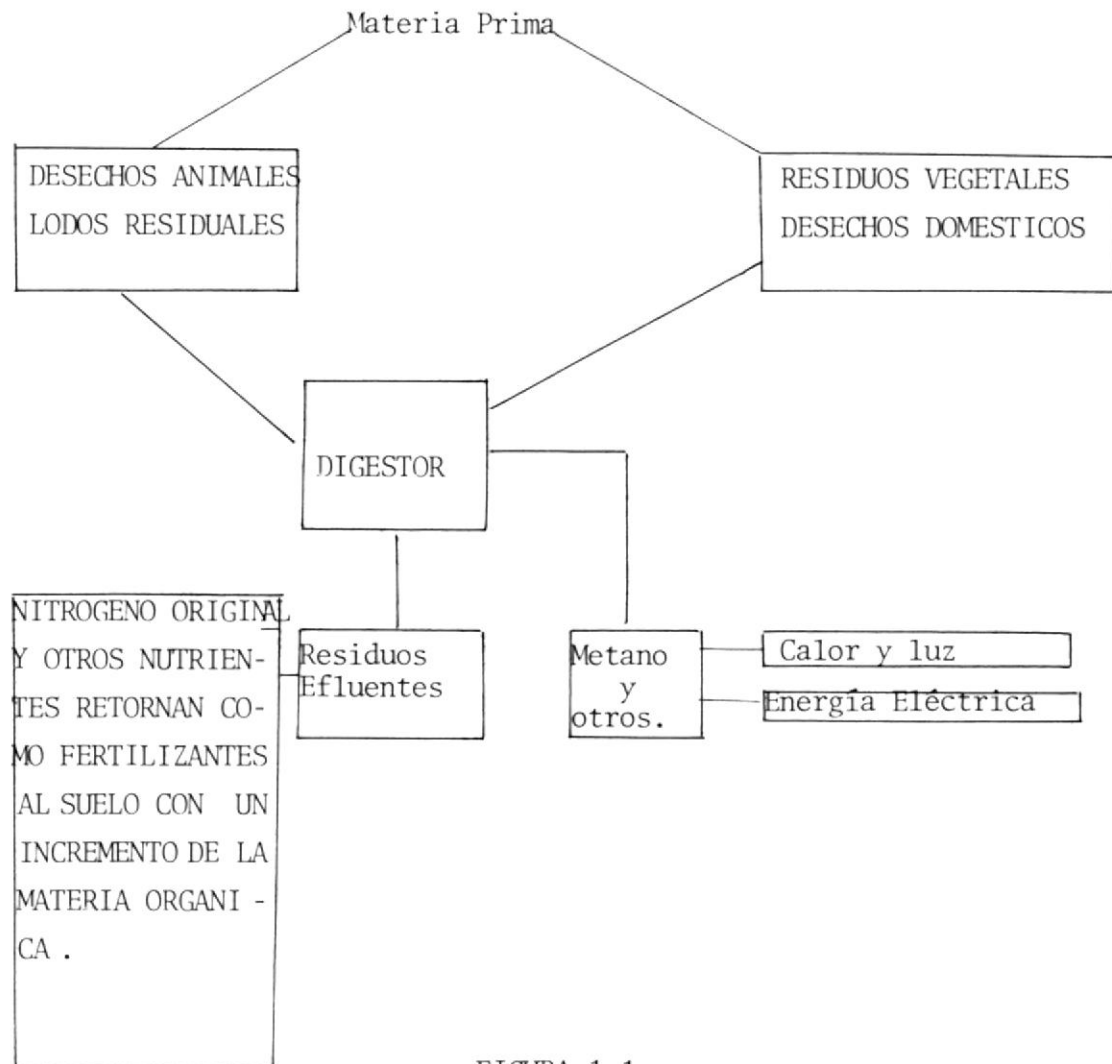
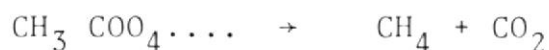


FIGURA 1-1

FERMENTACION ANAEROBICA CON USOS DE DESECHOS ORGANICOS

ácidos que son anaeróbicos facultativas (viven tanto en presencia como ausencia de oxígeno).

En la tercera etapa de METANOGENESIS, los ácidos orgánicos simples producidos en la segunda etapa de vienen en sustratos para la descomposición, estabilización y producción de metano, mediante la acción de bacterias metanogénicas, estrictamente anaeróbicas, las cuales producen CH_4 por dos vías: fermentación de ácidos acéticos y reducción de CO_2 (principalmente) asociados con el metanol y ácido formico por hidrógeno naciente.



Estas bacterias son muy sensibles a los cambios de PH cuyo rango óptimo está entre 7 y 7.2. Así mismo, la descomposición anaeróbica es óptima en dos rangos de temperatura. El rango mesofílico ($21-40^\circ\text{C}$) y el rango termofílico ($40-60^\circ\text{C}$), por debajo de 20°C .

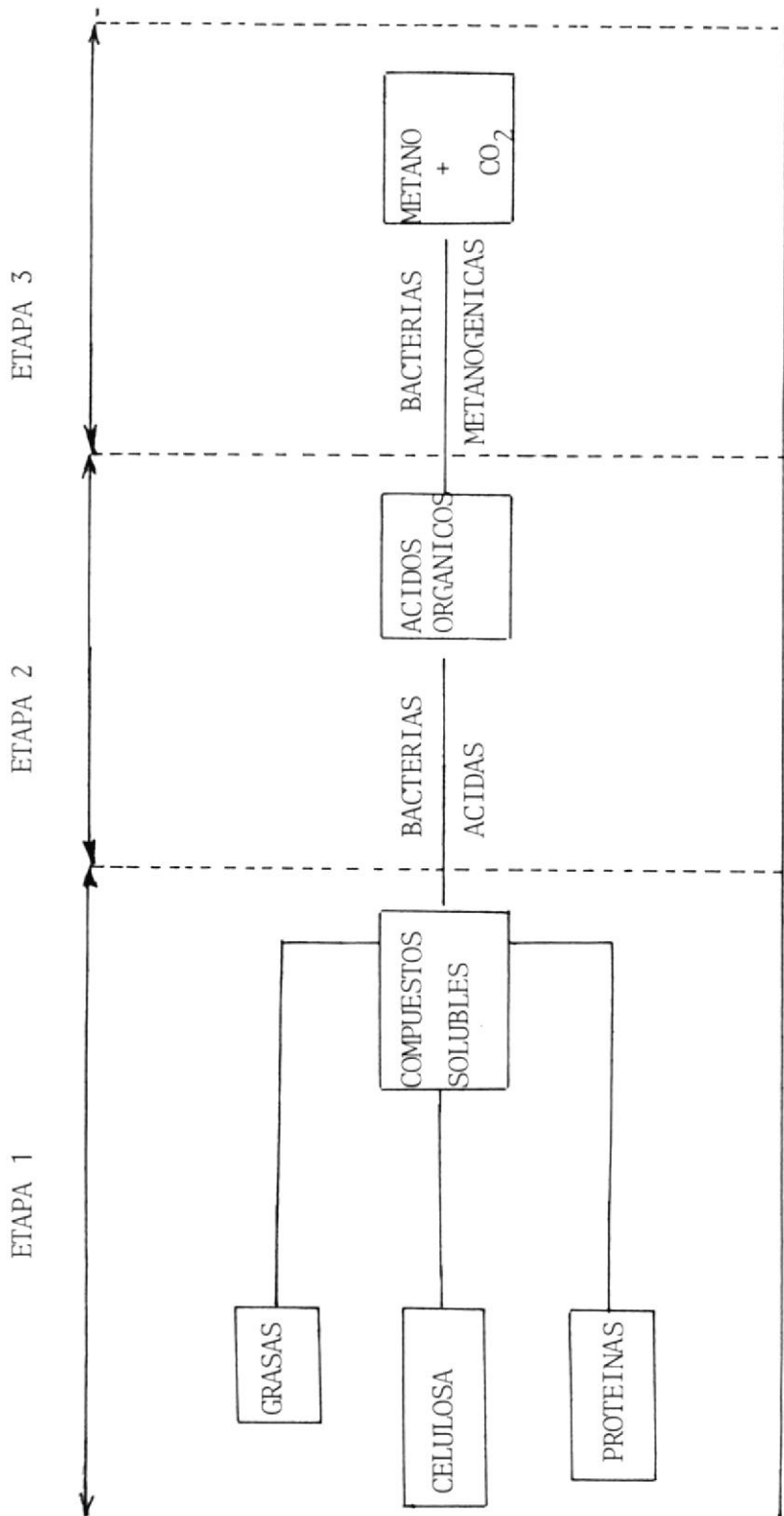


FIGURA 1-2
ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA

La actividad microbiana disminuye hasta casi cesar por completo.

La tabla 1.1. muestra algunas ventajas y desventajas del proceso.

1.2.1. Microbiología y sustancias de la I Etapa

La materia prima para la primera etapa puede ser cualquier residuo orgánico, compuesto primordialmente de carbohidratos líquidos, proteínas y material inorgánico.

La mayoría de los carbohidratos son celulosas y otros componentes de residuos y vegetales - tales como hemicelulosa y lignina, estas son encontradas no solamente en residuos vegetales sino que en excrementos de animales cuando estos no los digieren totalmente. Un ancho espectro de bacterias anaeróbicas es requerida para solubizar estos materiales de allí que existan bacterias: lipolíticas, celulíticas y

TABLA 1. i.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FERMENTACION ANAEROBICA

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Produce grandes cantidades de gas metano.	Posibilidad de explosión. Alto capital inicial de costo (sin embargo si es operado y mantenido - apropiadamente el sistema puede ser pagado por si mismo).
Metano puede ser almacenado a temperatura ambiente.	Puede desarrollar un volumen de material residual mucho más grande que el material original por el agua es añadido a la materia prima (esta no puede ser una desventaja en países donde las haciendas están cerca de las plantaciones entonces permite que los efluentes se los aplique directamente sobre la tierra sirviendo de esta manera como irrigación y fertilizante). El líquido residual presenta una potencial contaminación de las aguas si es manejado incorrectamente.
Produce fluyendo libremente líquidos residuales.	
Los efluentes son casi inoloro con olor no desagradable.	
Los residuos de la digestión sirven como fertilizantes y pueden ser usados como acondicionador de suelos.	
Reduce el contenido orgánico del material de desecho por 30 - 50% y produce un efluente establecidos para usos posteriores.	
Las semillas de malas hierbas son destruidas y patógenos son también eliminados o reducidos en números.	

VENTAJAS

Roedores e insectos no son atraídos por el producto final del proceso, con posibilidades de pestes y enfermedades por el desecho están limitadas.

Provee una manera para el tratamiento de los desechos humanos y vegetales.

Ayuda a conservar la fuente energética local tales como la madera - que puede ser usada en proceso más eficiente.

DESVENTAJAS

Mantenimiento y control son requeridos; el contenido quimico en la materia prima inicial si es inadecuado tiene una potencial interferencia con el - funcionamiento del digestor.

Mejor eficiente uso del metano como combustible requiere promover impurezas tales como SH_2 y CO_2 , particularmente cuando el gas es usado en motores de combustión interna.

de capacidad enzimática.

La actividad celulítica es la más crítica al producir la compleja materia prima adecuada, a una simple, soluble.

1.2.2. Sustancias y microbiología de la II Etapa:Producción de Acido

Los componentes monómeros resultantes de el rompimiento hidrolítico que ocurren durante la acción bacterial de la etapa I llega a ser la sustancia para la producción del ácido de la segunda etapa. Los ácidos son producidos al final del metabolismo de la bacteria sobre carbohidratos; acético, propiónico y ácidos lácticos son la mayoría de los productos. La bacteria metanogénica están muy restringidas en cuanto a la utilización de sustancias y son probablemente capaces de utilizar solamente el ácido acético.

Algunas especies de bacterias metanogénicas

pueden ser producir metano de H_2 y dióxido de carbono, estas sustancias también pueden producirse por la reducción del metanol, que es posible del rompimiento de los carbohidratos. Sin embargo el ácido acético es probablemente el más importante material para la formación del metano; estudiando las formaciones de diferentes materiales se llega a la conclusión, que, aproximadamente el 70 % del metano producido proviene del ácido acético.

El proceso de la microbiología de la segunda etapa no está totalmente comprendida, además se supone que las especies de bacterias que intervienen y la proporción de sustancias producidas dependen de la flora presente y así - como también de las condiciones ambientales.

1.2.3. Sustancias y microbiología de la III Etapa. Producción de Metano

La bacteria metanogénica como se recalcó arriba

está fuertemente restringidas y probablemente utilice esas sustancias mencionadas antes y que son producidas por otras bacterias durante la segunda etapa. La bacteria Metanogénica utiliza ácidos acéticos, metanol o dióxido de carbono e hidrógeno para producir metano. Unas pocas sustancias más pueden ser utilizadas tales como el ácido fórmico pero estas no son importantes de allí que no están usualmente presente en fermentación anaeróbica. Las bacterias metanogénicas son también dependientes de las bacterias de la primera y segunda etapa para proveer nutrientes en una forma útil por ejemplo: el nitrógeno orgánico como puesto puede ser reducido a amonía mediante la utilización eficiente del nitrógeno por la bacteria metanogénica. Estas bacteria también requiere de fosfato y otros materiales, su requerimiento exacto, sin embargo, no ha sido determinado.

Las bacterias metanogénicas son también sensitivas a ciertos factores ambientales de modo que le perjudica la presencia de oxígeno, su

crecimiento es inhibido bajo las pequeñas cantidades de oxígeno.

No solamente el oxígeno sino también material altamente oxidados tales como nitratos, nitritos pueden inhibir la materia metanogénica.

Estas bacterias son también sensitivas a cambios en Ph; el rango del Ph óptimo para la producción de metano esta entre 6.6 y 7.7.

Cuando el Ph cae bajo 6.6. hay una significativa inhibición de la bacteria metanogénica, y las condiciones de un 6.2 de Ph son tóxicas a esta bacteria. En este Ph, sin embargo la producción de ácidos puede continuar.

Bajo la condición de digestión balanceada las reacciones bioquímicas tienden a mantener el Ph en el rango adecuado automáticamente.

Los volátiles ácidos orgánicos producidos durante la primera etapa de la fermentación tienden a bajar el Ph, este efecto es producido -

por la destrucción de ácidos volátiles y la reformación de bicarbonatos equilibrados durante la segunda etapa. Si ocurre un desbalance el ácido formado ocupa el lugar del metano y los ácidos volátiles orgánicos salen del sistema. Si el desbalance continúa, la capacidad amortiguadora puede sobrepasarse y una gran caída del pH puede ocurrir. Agregar carbonato de calcio puede ser necesario para amortiguar los efectos de acidez; otros agentes tales como hidróxido de amoníaco puede ser usado como agentes amortiguadores, pero sin excederse, ya que grandes cantidades el efecto cambia y llega a ser tóxico.

La figura 1.3., da un esquema general del rompimiento biológico de los residuos orgánicos en el digestor, ya que todo el material no es digerible. Es decir que de todo el residuo orgánico sólo intervendrá en el proceso la parte orgánica, pero de esta porción existe un porcentaje como la fibra, la lignina que resisten el ataque bacterial

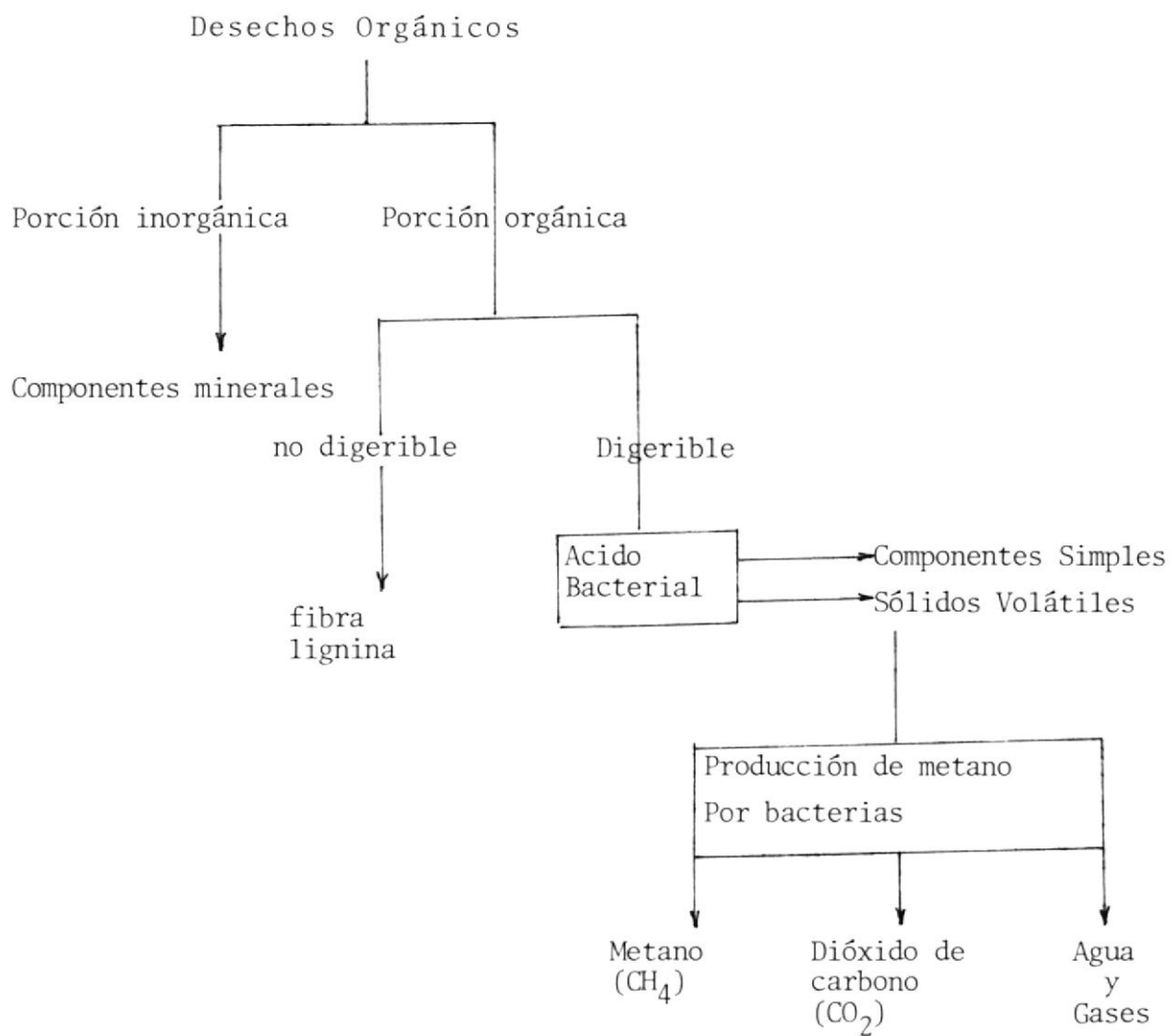


FIGURA 1-3

ROMPIMIENTO BIOLÓGICO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL DIGESTOR

y que no se biodegradan (Conversión de Elementos simples).

1.3. LOS DIGESTORES

La descomposición anaeróbica de desechos orgánicos, produce una mezcla de gases que contiene metano, bióxido de carbono, nitrógeno e hidrógeno. El gas puede usarse como combustible y el residuo de la fermentación como fertilizante.

El proceso mencionado se realiza en un digestor que es un contenedor (un tanque o pozo) donde ocurre la fermentación anaeróbica.

Al gas generado se le conoce generalmente con el nombre de biogas.

1.3.1. Características de los Digestores

Para asegurar que el proceso de fermentación anaeróbica se lleve a cabo, es necesario que el recipiente (digestor) sea hermético a la atmósfera.

Tomando en cuenta que los cambios bruscos de temperatura inhiben el proceso, es conveniente construir el digestor utilizando materiales de baja conductividad térmica y si es posible enterrado.

Debe proveerse un sistema de carga y descarga que facilite el regimen de operación continua.

La formación de natas es un problema típico - que afecta la producción de gas y la digestión total del material orgánico por lo que es conveniente de dotar al sistema un medio de romperlo, de manera que reduzca el problema.

Deben tomarse previsiones para medir presión, temperatura, volumen de gas producido, así como también tener facilidades de muestreo de líquidos.

Una instalación de este tipo debe localizarse en sitios que permita el fácil acceso de materia prima, tomando en cuenta además aspectos de utilización y almacenamiento de biogas y

lodos residuales.

1.3.2. Operación de Digestores

Una planta de biogas debe reunir las características necesarias para producir, almacenar y distribuir el biogas a los consumidores.

La mayoría de los digestores acumulan su producción en los gasómetros o campanas. Una buena operación permite que residuos orgánicos de estructura química compleja, se transformen en gases; pero el proceso requiere de determinadas condiciones de vida.

Con el propósito de conseguir un proceso de digestión eficiente, al digestor debe ser operado adecuadamente.

El gráfico 1.4., da un esquema de un digestor convencional. (Tipo Hindú).

Aunque existen diseños de digestores con operaciones especiales, por lo general la operación se puede resumir en lo siguiente:

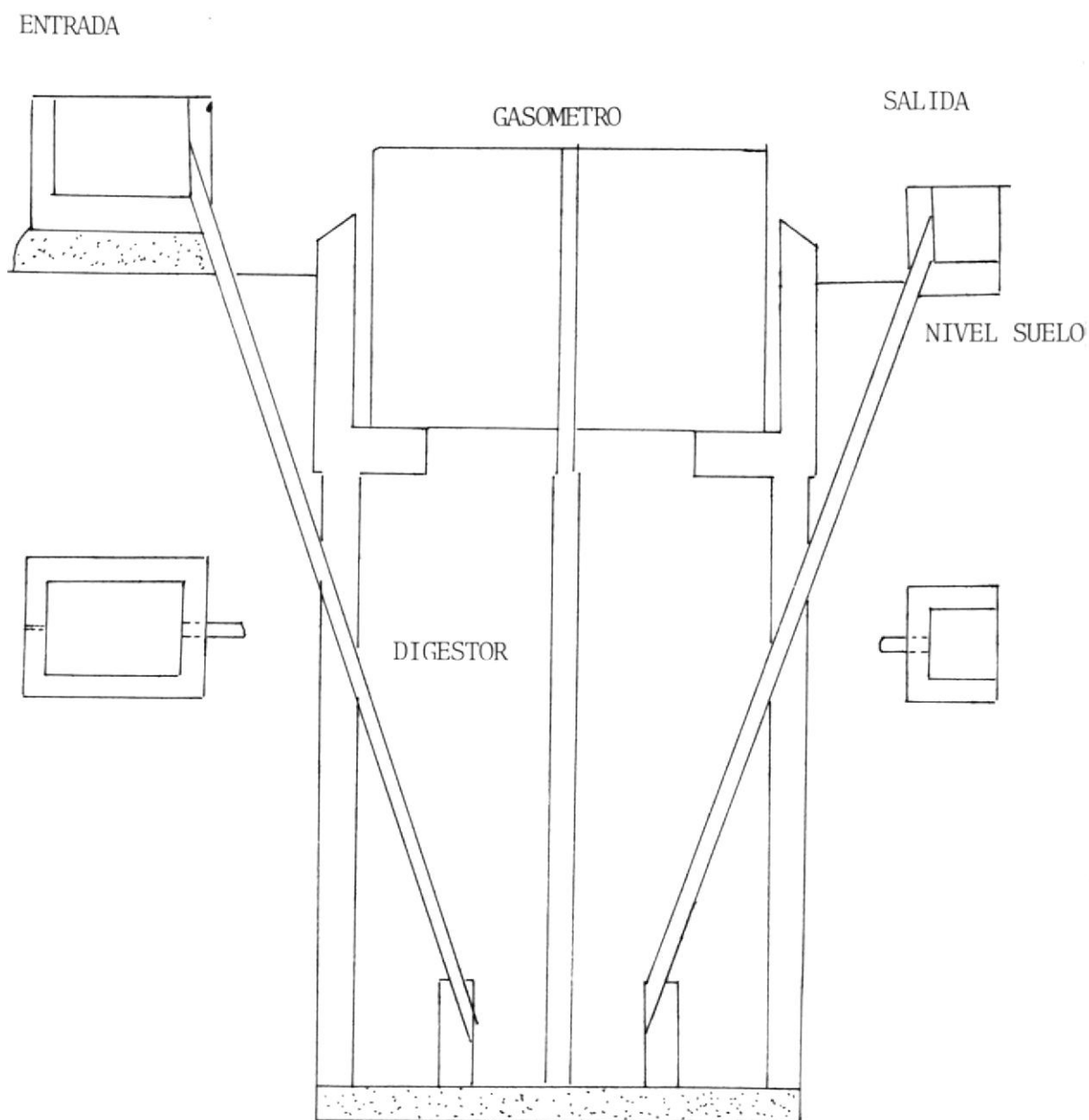


FIGURA 1-4
DIGESTOR DE BIOGAS CONVENCIONAL (TIPO HINDU)

En el gráfico 1.4., se tiene una entrada de alimentación de la materia prima, después - de cierto tiempo que demora la digestión - anaeróbica, parte se convierte en gas y se acumula en el gasómetro, la otra parte es desplazada cuando es nuevamente alimentada. Para este caso la circulación del sustrato, se debe a la gravedad, existiendo digestores que por el volumen de carga es necesario - que el sustrato sea bombeado.

1.4. TIPOS DE DIGESTORES

Existen varias clasificaciones de los digestores, de_ pendiendo si interesa la forma de operación, posición; tipo de proceso; forma de alimentación; sus formas; su volumen, etc., que es necesario conocer para seleccionar el más adecuado a las necesidades locales.

Una clasificación es la siguiente:

Digestor continuo, digestor semicontinuo, digestor tanda.

De acuerdo a su posición puede ser:

Horizontal, vertical, inclinado.

Los digestores toman diferentes nombres en concordancia a los diseñadores, lugar de desarrollo, etc.

1.4.1. Digestor Continuo

Existen diversos modelos e innovaciones, básicamente son digestores que tienen una alta tasa de digestión de modo que continuamente están siendo cargados. La figura 1.5, presenta un esquema de un digestor continuo.

1.4.2. Digestor Semicontinuo

Aunque también existe un flujo másico a través del digestor, el tiempo de residencia es mayor que el digestor anterior y cambia su volumen de operación. En ciertas ocasiones, es muy difícil diferenciarlos con exactitud. En estos digestores la masa se remueve paulatinamente en porciones diarias; esto hace que se los llame también intermitentes.

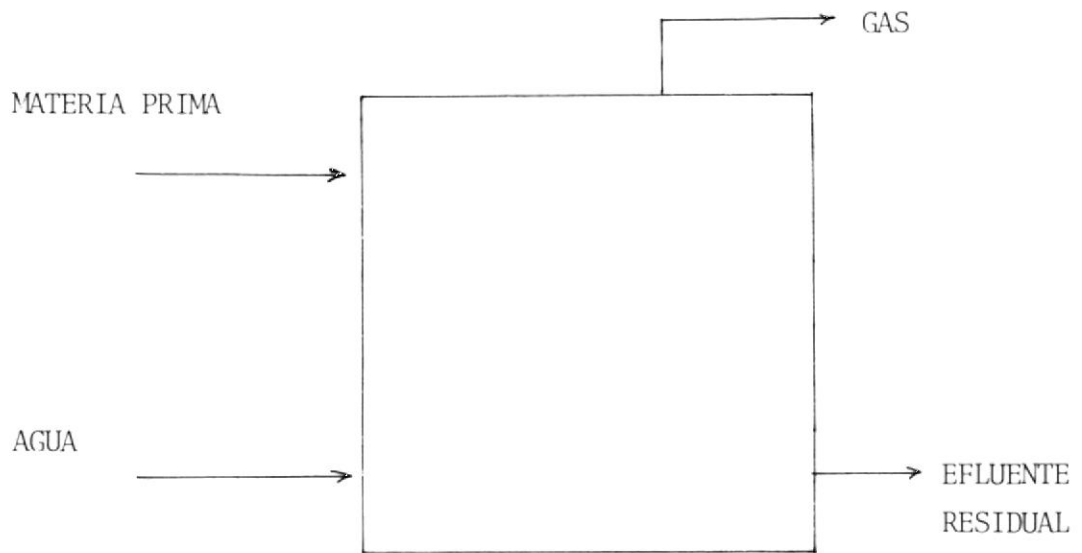


FIGURA 1-5

ESQUEMA DE UN DIGESTOR CONTINUO

1.4.3. Digestor Tanda

Son muy usados en laboratorio. Se distinguen por no tener un flujo masico de sustrato sino que una vez terminada la producción de gas, se descarga totalmente y se cambia la materia prima por un material fresco; también se lo conoce por digestor de una sola carga; digestor por lotes o batch.

1.5. SELECCION DE DIGESTORES

Se debe saber en primer lugar el tipo de residuo orgánico disponible. La cantidad, calidad y continuidad de suministro de los sustratos; el tipo de infraestructura existente; las condiciones ambientales - del lugar (temperatura, nivel del mar, lluvias, etc). Conociendo entre otros detalles lo anterior se procede a realizar un análisis económico; y la decisión - de elegir entre los diferentes modelos en más adecuados, es una decisión acorde a cada caso en particular. Para más detalles revisar el capítulo VI.

1.6. MATERIA PRIMA DE LOS DIGESTORES

Son todas aquellas que tienen elementos básicos como, C, O, N, etc. Se ha podido determinar que están presentes en los siguientes desechos orgánicos:

Desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos agroindustriales, desechos municipales que incluyen basura sólida, lodo de drenaje, desechos orgánicos de industrias tales como selvícola, papel, alimento, bagazo de caña, etc., desechos rurales.

La mayoría de ellos pueden ser agrupados en cuatro grandes grupos:

Residuos agrícolas, desechos orgánicos de industrias, mezcla de productos vegetales, materiales de origen animal, y desechos urbanos.

1.6.1. Tipos de materia Prima

Aquí está incluido cualquier residuo orgánico que pueda ser biodegradable. Para objeto de

este estudio se limitará a la clasificación mencionada arriba.

1.6.1.1. Residuos Agrícolas: La variación en composición de materia prima de origen vegetal es bien ilustrada por la tabla I.2 , tomado de OLADE(15). NAS (14), establece que el contenido de agua -sustancia- azúcar, aminoácidos, proteínas, minerales constituyentes decrece con la edad de la planta, mientras que el contenido de celulosa, lignina, hemicelulosa y otros se incrementa.

Los azúcares que están presente como componente de la celulosa, mientras - no son hidrolizados, el proceso de generación de metano no puede continuar. La eficiencia de utilización de los residuos vegetales es determinado por la capacidad de digestibilidad de la materia prima, que es primordialmente una función del contenido de lignina.

TABLA 1.2.

COMPOSICION QUIMICA DE DESECHOS DE PLANTAS

CONSTITUYENTES	PLANTAS JOVENES DE CENTENO	PAJA DE TRIGO MADURO	TALLO SU PERIOR DE SOYA	TALLO SU PERIOR DE ALFALFA.	TALLOS JOVENES DE CEREA LES.	TALLOS DE CEREA REALES MADUROS	ASTILLAS DE PINO JOVEN	ASTILLAS DE PINO VIEJO.	ASILLAS DE PINO	HOJAS DE ROBLE VERDE
Grasas y ceras	2.35	1.10	3.80	10.41	3.42	5.94	7.65	23.92	7.75	
Const. solubles en agua	29.54	5.57	22.09	17.24	28.27	14.14	13.02	7.29	22.02	
Hemicelulosas	12.64	26.35	11.08	13.14	20.38	21.91	14.68	18.98	12.50	
Celulosas	17.84	39.10	28.53	23.65	23.05	28.67	18.26	16.43	15.92	
Ligninas	10.61	21.60	13.84	8.65	9.68	9.46	27.63	22.68	20.67	
Proteínas	12.26	2.10	11.04	12.81	2.61	2.44	8.53	2.19	9.18	
Ceniza	12.55	3.54	9.14	10.30	7.40	7.54	3.08	2.51	6.40	

Tomado de OLADE (15)

En áreas donde el residuo vegetal no es utilizado como alimento, la cantidad - potencial disponible para la generación puede ser estimado del peso de la producción de cosecha, usando el correspondiente coeficiente de corrección para cada residuo agrícola.

Estos coeficientes algunos de los cuales está dado en la tabla I- 3 , depende de la naturaleza del residuo vegetal. La cantidad de residuo vegetal disponible para el digestor es estimada, multiplicando el peso de la cosecha por el coeficiente del residuo. Si una parte del residuo es usado como forrage. o para fibra, la cantidad neta del residuo vegetal disponible para la generación - de metano depende, por supuesto de la cantidad remanente.

TABLA 1.3.

COEFICIENTES RESIDUOS*PARA DESECHOS VEGETALES

RESIDUOS	RANGO	COEFICIENTE
Cáscara de soya		.55 - 2.60
Maíz		.55 - 1.2
Algodón	1.2	- 3.0
Trigo		.47 - 1.75
Cebada		.82 - 1.50
Arroz en cáscara		.38 - 1.25
Centeno	1.2	- 1.95
Avena		.95 - 1.75
Remolacha		.07 - .20
Caña de azúcar		.13 - .25

Tomado de National Academy of Sciences, 'Methane generation from human, animal and agricultural wastes, pag.39, was, E.U.A. (1977).

*.Coeficiente residuo es la relación de "materia seca" del residuo al peso de materia recogida de la cosecha con la humedad del campo. Para granos y pajas, el contenido de humedad del campo asumido debe ser 15 %.

1.6.1.2. Desechos orgánicos de industrias:

El papel constituye una significativa fracción como materia prima para los digestores anaeróbicos. Este recurso de celulosa es posible debido a que durante el proceso de fabricación se remueve una gran porción de lignina - presente en la madera inicial.

La digestibilidad del papel puede ser mejorada si cuando se la utiliza tiene la relación C:N en el orden de 30:1 esto puede ser logrado cuando el papel es mezclado con desechos de animales en proporciones adecuadas.

1.6.1.3. Mezcla de productos vegetales:

Otros productos vegetales que no son considerados como residuos agrícolas, son alimentos potenciales para la generación de metano. El producto de limpiar una selva por ejemplo. Son

todavía abundante los arbustos en algunas partes del globo y las circunstancias justifican su - transportación.

En muchas partes del mundo tropical, semitropical, el crecimiento de algas, jacinto y otras plantas acuáticas es un problema perenne en charcas, lagunas, tanques y otros cuerpos que acumulan aguas.

Estos crecimientos acuáticos son buenas fuentes para la producción de energía; la digestión anaeróbica de 1 lb. de alga (peso seco) puede producir metano que genere cerca de 6000 BTU.

1.6.1.4. Materiales de origen animal:

El estiércol de animales en una comunidad agrícola la representa una significativa materia prima para el proceso de bioconversión, el excremento no solo que tiene carbono, sino que posee colonias de bacterias producto de la flora industrial.

La tabla 1.4., presenta la producción y composición de algunos animales.

La tabla anterior claramente ilustra que la cantidad y composición de desechos de animales son dependiente del tipo de animales; las aves producen más sólidos volátiles, nitrógeno y fósforo por unidad de peso de animal, que cualquiera de los otros animales.

1.6.1.5. Desechos Urbanos:

Una parte lo constituyen los desagües municipales que tienen como principal componente las heces humanas. El tratamiento requiere enormes inversiones para mecanizar el sistema.

Se puede utilizar un tratamiento combinado de desague y basura municipal para producir biogas, avisorándose un gran potencial energético que puede ser usado por la misma población, y a la vez, constituiría un método eficaz para evitar la contaminación ambiental.

TABLA 1.4.

PRODUCCION Y COMPOSICION DE ESCREMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

ANIMAL	PRODUCCION DIARIA				COMPOSICION		
	POR 1000 Lb.		POR 500 Kg.		Sólidos Volátiles	N	P
	Vol. (ft ³).	Peso mojado (lb)	Vol. (M ³)	Peso mojado (kg)	Porcentaje peso mojado		
Ganado leche	1.33	76.9	.038	38.5	7.98	.38	.10
Ganado carne	1.33	83.8	.038	41.7	9.33	.70	.20
Cerdos	1.00	56.7	.028	28.4	7.02	.83	.47
Ovejas	.70	40.0	.020	20.0	21.5	1.0	.30
Aves	1.00	62.5	.028	31.3	16.3	1.2	1.20
Caballos	0.90	56.0	.025	28.0	14.3	.86	.13

Tomado de NAS (14)

CAPITULO II

CLASE Y SELECCION DEL TIPO DE PROCESO

En la práctica con un criterio amplio se acepta que los digestores cubren dos definidos procesos:

Proceso continuo y Proceso Tanda.

2.1. PROCESO CONTINUO

Son propio de los digestores continuos la figura 1.5, da un esquema general.

Este proceso es muy utilizado en los digestores para tratamiento de aguas negras.

En vista que la materia prima es alimentada continuamente da lugar a que se establezca una determinada tasa de producción de gas, y también una relación estacionaria de entrada y salida.

La mayoría de los digestores diseñados para operación continua tienen una alta producción de gas por unidad volumétrica del digestor comparado con la producción tanda.

2.2. PROCESO TANDA

La tecnología de los digestores discontinuos, por lotes o por tanda, desde sus inicios tenían por objetivo la producción de bigas a partir de la descomposición de de sechos agrícolas, la producción de fertilizante era se cundario. Desde el punto de vista del desarrollo tecnológico de la biometanación, y de sus prácticas de labo ratorio es el más sencillo, por eso se piensa que las primeras prácticas de biometanación, en forma sistemática fueron hechas en el sistema discontinuo.

2.2.1. Desarrollo histórico y tecnología del proceso - Tanda

El desarrollo de la tecnología de digestores discontinuos de carga sólida viene desde los años 40 a 50 del presente siglo, en los cuales se comenzó la investigación a nivel de laboratorio con el objeto

de conocer los diferentes parámetros de degradación que servirían posteriormente para diseñar la primera planta piloto de biogas.

En 1941, el Ing. Ducellier establece mediante un digestor de 18 litros, la necesidad imperiosa de la prefermentación aeróbica, fase inicial de la fermentación anaeróbica.

Se establece con la prefermentación aeróbica, el principio tecnológico que permite cargar digestores por lotes en forma masiva, maximizando la carga de biomasa por metro cúbico de capacidad del digestor y con ello aumentando el potencial de producción de biometano por metro cúbico de capacidad.

En 1942 a 1946 se propaga en Argelia y en el sur de Francia. El sistema Ducellier - Isman. En la mayoría de los casos estos digestores construídos durante la segunda guerra mundial, bajo la presión de la carencia energética por falta de aprovisionamiento de petróleo, son abandonados a principio de los años cincuenta, cuando empieza a fluir el aporte del oriente medio.

En el proceso tando se llena completamente el digester, se sella y una vez terminado el ciclo de producción de gas se descarga. La tecnología utilizada en la degradación de la materia orgánica es de baja dilución, pues se introduce del 40 % al 60 % de sólidos disueltos (secos).

Generalmente en este sistema se introduce materia muy polimerizada, por esto es necesario que haya baja dilución (ya que la descomposición es lenta) siendo prescindible la mayoría de las veces (dependiendo del tipo de materia) una prefermentación aeróbica del material antes de llenar el digester.

A partir de 1958, en Guatemala comienza una etapa de desarrollo y producción de los digestores por lotes a través de la iniciativa privada. Allí se han logrado elevadas eficiencias en degradación de desechos como: Estiércoles, residuos de maíz, pastos, bagazo de caña, tortas de algodón y aceite, residuos de allaca, pulpa de café, etc.

El modelo más conocido en latinoamérica es el de forma cilíndrica o poliédrica, eje vertical, en altura preferentemente igual al diámetro, es el digester Olade Guatemala. Se construye sobre el

nivel del suelo o semienterrado, apoyado en una base subterránea, tal como se lo enseña en la figura 2.1.

Existen otras formas y modelos de digestores - tandas.

2.3. PREPROCESAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

En el capítulo I, se estableció las diferentes materias primas que se pueden utilizar, pero debido a su presentación física y química y a los cambios ambientales es necesario que estos materiales antes de ser usados necesiten de un preprocesamiento.

Esto incluye entre otras cosas cambios físicos y químicos; conociéndose uno de ellos como el método de compostage.

2.3.1. Método del Compostage

La materia prima para alimentar al digestor en su carga inicial, sufrirá previamente un proceso de

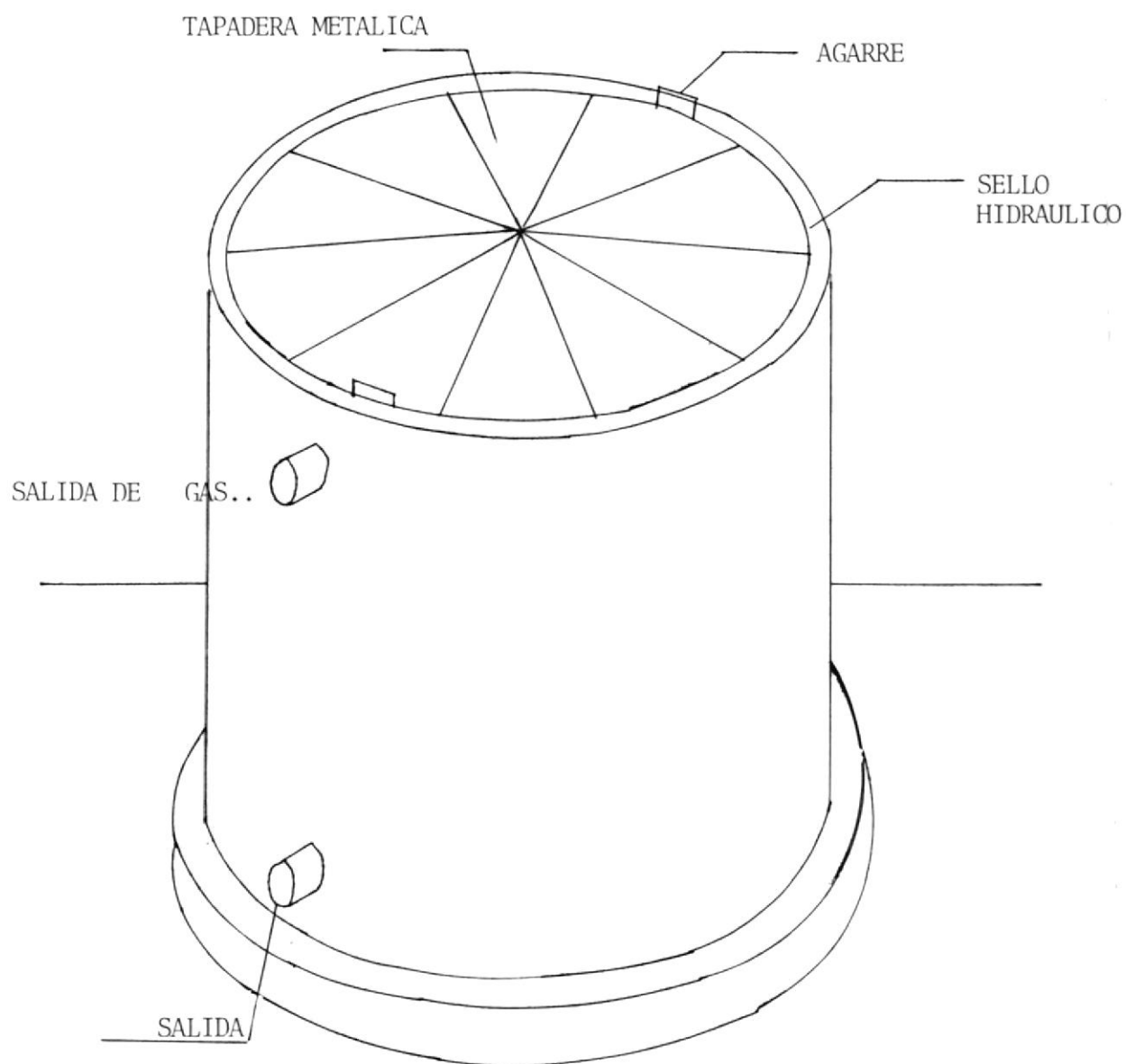


FIGURA 2-1

DIGESTOR TANDA TIPO OLADE - GUATEMALA

fermentación aeróbica llamada compostage, el cual es realizado con la finalidad de quitar la capa cerosa que cubre a los materiales fibrosos como las pajas, pastos, hierbas y tallos.

Si estos materiales fibrosos fueran introducidos al digestor, sin este tratamiento previo, daría lugar a que el proceso de digestión, sea lento y pesado, formando en la parte superior del digestor una amplia capa de nata que impida la formación del biogas; esto se debe a que el material tiene una densidad menor y hace que se eleven, no permitiendo la acción de las bacterias fermentativas.

El compostage en forma general consiste en dejar al aire libre una determinada cantidad de material mezclada con excremento de ganado vacuno en capas sucesivas de alternas de 25 a 30 cm. de espesor, dejando externamente recubierta con heces de vacas, por siete días permanecen en reposo. Posteriormente se mezclan homogéneamente y se recubre nuevamente con heces y por siete días se deja nuevamente en reposo. Después será revuelto, mezclado y apilado. A esta pila se le rocía con cierta

cantidad de agua de cal 2%. Finalmente se cubre con el 10 % del total de la materia prefermentada con excremento de vaca manteniéndola en reposo por 3 días al cabo de los cuales se tendrá el material listo para ser introducido al digestor.

Generalmente a más del preprocesamiento para asegurar y facilitar al inicio de producción metanogénica se utiliza inoculantes o colonias de bacterias anaeróbicas y existiendo las condiciones adecuadas crecerán rápidamente.

La gran mayoría de los inoculantes están presentes en el lodo activado y este puede tener tres orígenes.

- a. Líquidos fecales en descomposición
- b. Lodo proveniente de la descarga de otro digestor.
- c. Lodos provenientes de aguas estancadas con actividad metanogénica.

2.4. VENTAJAS DEL USO DE INOCULANTES

Asegurar la presencia de bacterias anaeróbicas.

Acelerar el proceso de fermentación anaeróbica.

Acortar el tiempo de inicio de producción.

Disminuir el tiempo de residencia de la materia prima en el digestor.

2.5. SELECCION DEL PROCESO A UTILIZARSE

El Capítulo VI, da mayores detalles sobre selección; pero en este caso se trata de seleccionar el proceso para investigaciones preliminares.

Uno de los problemas que se tuvo que afrontar es la de -desechos orgánicos que aunque se ha visto que es abundante no están siempre disponibles, pero afortunadamente las pruebas experimentales estuvieron asesoradas por expertos internacionales como el Dr. RAM BUX SHING*, quien recomendó el uso del proceso tанда.

Uno de los tantos argumentos es el que permite seguir con mayor facilidad el proceso globalmente.

*En su visita a la ESPOL por Convenio INE-ESPOL, Agosto a Septiembre de 1.981.-

CAPITULO III

PARAMETROS PRINCIPALES EN LA PRODUCCION DE BIOGAS

Los parámetros son muchos pero con el objeto de facilitar el estudio se los ha dividido en varios grupos y entre ellos - los siguientes:

Parámetros de composición, parámetros físicos, parámetros operacionales y otros.

3.1. PARAMETROS DE COMPOSICION

Las bacterias requieren para su crecimiento de una fuente de energía y de fuente de materia. En la mayoría de las fermentaciones industriales la fuente de energía y de materia es la misma, pero en una fermentación es necesario, que la fuente de materia contenga todos los elementos - constituido de la masa celular y en la composición interna del organismo.

Por lo general las materias tienen el 84 % del peso seco repartido entre el C, N, O. Si el proceso es aneróbico -

entonces los elementos más importantes son el C y N; de allí que se establezca la relación C:N como un parámetro muy necesario en el crecimiento bacteriano; también es necesario el parámetro de dilución y finalmente no podía faltar el nivel de pH indispensable en los procesos de bioconversión.

3.1.1. Relación C: N

De un punto de vista biológico, los digestores pueden ser considerados como un cultivo de bacterias que se alimentan de desechos orgánicos.

El elemento carbono (en la forma de carbohidrato) y nitrógeno (como proteínas, nitratos, amoníaco, etc.) son los principales elementos para la bacteria anaeróbica. El C es utilizado como energía y el N para la construcción de la estructura celular.

Las bacterias utilizan 30 veces más C que N.

El mejor proceso de digestión anaeróbica ocurre cuando la materia prima utilizada contiene una

cierta cantidad de C y N juntos. La relación de carbono a nitrógeno representa la proporción de estos dos elementos.

Un material con 15 veces más C que N tiene una relación C : N de 15 a 1 (escrita C : N = 15).

A C : N de 30 permitirá un proceso con una tasa óptima de producción, si las otras condiciones son favorables, si hay mucho C (alta relación C: N; 60/1 por ejemplo) en la materia prima no será favorable para la digestión pues siempre faltará nitrógeno. Esto hará que el digestor produzca lentamente. En el otro lado si hay mucho N (baja relación C : N; 30/15 por ejemplo, o simplemente 2), el carbono se acabará rápidamente y la fermentación se detendrá. El N remanente se perderá en forma de NH_3 . Esta pérdida de N hace perder la condición de buen fertilizante al efluente.

Hay muchas tablas normalizadas que tienen listados las relaciones C : N de varios materiales orgánicos, pero ellos pueden ser muy engañosos por lo menos por dos razones.

a. La relación C:N medida químicamente en el labo

ratorio es a menudo no la misma que la relación C : N utilizada por la bacteria como alimento - (algunos de los alimentos puede ser indigerible para la bacteria; paja, lignina, etc.).

b. El N y C contenido de una específica clase - de planta o animal varía tremendamente de acuerdo con la edad, y condiciones de crecimiento de la planta; dieta, edad, grado de confinamiento, etc. del animal.

Debido a que el N existe en muchas formas químicas naturales (amoníaco, NH_3 ; Nitratos, NO_3 ; Proteínas, etc.), no existen pruebas de laboratorios que midan exactamente la cantidad total de N presente en cada material.

Una clase de examen puede medir la orgánica y N del amoníaco (la prueba KJELDAH), otra puede medir la relación de nitratos, nitritos, etc. También, N puede ser medido en términos de peso "mojado", peso seco o contenido de sólidos volátiles de material; todos los cuales darán diferentes valores para la proporción de N. Finalmente el con

tenido de nitrógeno de una específica clase de excremento o desecho de planta puede variar, dependiendo de las condiciones de edad, crecimiento, dieta y otras cosas más.

Por ejemplo, un estudio reportado en el campo de la cebada que contiene 39 % de N en el 21 día de crecimiento, 12 % de proteína en el 49 día de crecimiento, 4 % proteína en el 86 día de crecimiento. Se puede notar lo mucho que depende el nitrógeno de la proteína con la edad de la planta.

El N contenido en el excremento también varía grandemente.

Generalmente las heces contienen excremento, orinas y material no digerido (paja, trozo de maíz, césped, hierba, etc.) que está presente en las caballerizas o en lugares de alimentación del ganado.

La orina de los animales generalmente proporciona un exceso de N; el N contenido en los excrementos

es cambiado si demasiado orina es recogida con las heces. Por ejemplo, los pajaros excretan heces y orinas con igual cantidad, de allí que el contenido de nitrógeno en pollos, turquesas, tumpiles, golondrinas, etc. , son los que mayor cantidad de nitrógeno en el escremento tienen.

Ganado vacuno y otros rumiantes quienes tienen bacterias para digerir los elementos vegetales, tienen comparativamente bajo nivel de N porque mucho de su nitrógeno disponible es usado para alimentar su bacteria intestinal.

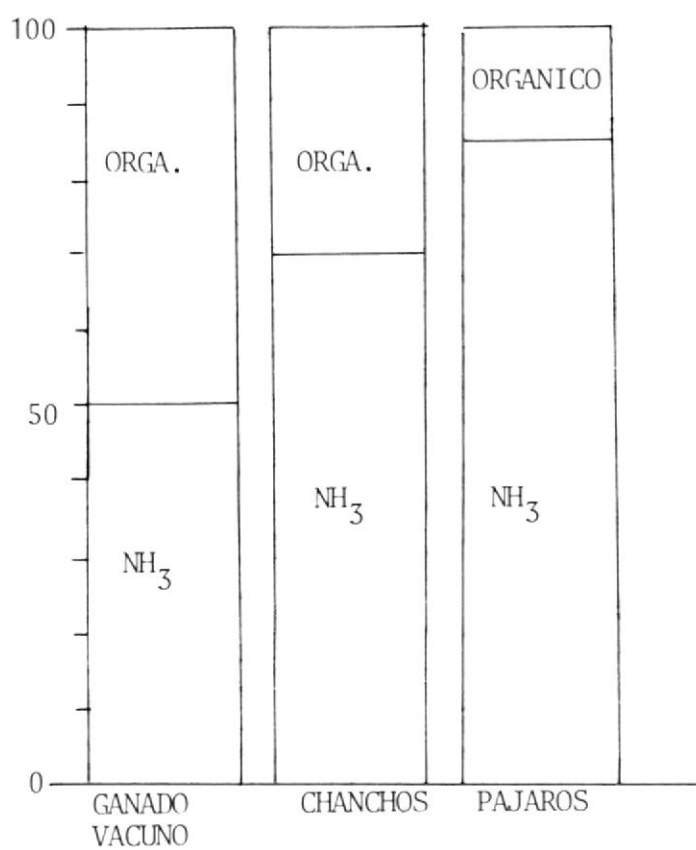
La figura N^o 3.1, indica tipos de N encontrados en diferentes clases de excrementos.

Aún con la misma clase de excrementos de animales hay gran diferencia en el contenido de N. Por ejemplo, excrementos de establos de caballos pueden tener más N que el excremento en los pastizales porque heces y orinas son excretadas y recogidas dentro de un pequeño lugar.

De modo que hay muchas variables, y porque la bac

FIGURA 3.1.

TIPOS DE NITROGENOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES CLASES DE ES
CREMENTOS



teria anaeróbica puede usar la mayoría de las formas en que se presenta el N, se encuentra que el contenido de los materiales orgánicos puede ser generalizado y presentado como un N total (% de peso seco).

El carbono como el N, existe en muchas formas que no es utilizada directamente por la bacteria. La forma más común de C indigerible es la lignina; para el propósito de la definición de lignina puede ser aceptada como la fracción del material vegetal que es insoluble al agua, eter, alcohol, alcali diluído, 70 % (peso/volumen) ácido sulfúrico y que permanece invariable al ataque bacterial. La lignina puede entrar directamente como componente de vegetales o directamente en el excremento de los animales cuando la digestión no ha sido adecuada. Entonces un cuadro con mayor aproximación puede ser obtenido cuando en la relación C : N, el carbono de la lignina no es considerado en el contenido de los residuos vegetales.

La tabla 3.1, indica valores de C y N de diferentes desechos orgánicos.

TABLA 3-1

VALORES DE CARBONO Y NITROGENO DE DIFERENTES DESECHOS ORGANICOS

DESECHOS ORGANICOS	NITROGENO Total(%pe so seco)	RELACION C:N
<u>DESECHOS DE ANIMALES</u>		
Grasas de animales		4.1"
Residuos de pescados secos		5.1"
<u>EXCREMENTOS</u>		
Heces humanas	6	6-10
Orinas humanas	18	
Pollos	6.3	15
Ganado Porcino	3.8	13
Ganado Vacuno	1.7	18"
<u>SEDIMENTOS</u>		
Activado	5	6
Aguas negras frescas		11"
<u>VEGETALES ALIMENTICIOS</u>		
Cáscara de soya		5
Semilla de algodón		5"
<u>RESIDUOS VEGETALES</u>		
Heno, hierba joven	4	12
Heno, alfalfa	2.8	17"
Heno, hierba azul	2.5	19
Algas marinas	1.9	19
Vegetales no leguminoso	2.5-4	11-19
Trébol rojo	1.8	27
Paja, centeno	1.1	48
Paja, trigo	.5	150
Aserrin	.1	200-500
Paja seca	.53	87
Tallos secos de arroz	.63	67
Tallos de maiz	.75	53
Hojarasca	1.0	41
Tallos de soya	1,30	32
Mala hierba	.54	27
Tallo de mani	.59	19

"No considerando la lignina en base seca, tomado de (15)(14)

3.1.1.1. Cálculo de relación C:N :

La tabla 3.1 puede ser usada para calcular la relación C:N de mezcla de desechos orgánicos. Considerese el siguiente ejemplo:

Calculese la relación C:N de 50 lb. de paja de trigo seco (C:N = 150) N en 150 lb. de excremento de caballo = $2.3 \% \times 50 = 1.2$ Lb.

C en 50 lbs. de excremento de caballo 25 veces más de N = $25 \times 1.2 = 30$ lbs.

N en 50 lbs. paja de trigo seco = $0.5 \% \times 50 = 0.25$ Lb.

C en 50 lbs. de tallo de trigo seco = $150 \times 0.5 = 37.5$

	EXCREMENTO	PAJA	TOTAL
Carbón	30	37.5	67.5 lb.
Nitrogeno	12	0.25	1.45lb.

$$\text{RELACION C:N} = 67.5/1.45 = 46.5$$

Aunque el valor es alto, ésta podría ser una relación satisfactoria para el propósito de digestión.

Calcule la relación C:N de 8 lbs. de hierba cortada (C:N = 12) y 2 lbs. de excremento de pollos (C:N = 15).

Nitrógeno en 8 lbs. de hierba cortada
 $= 6.3 \% \times 2 = 0.13 \text{ lb.}$

Carbono en 2 lbs. de excremento de pollo = 15 veces más que nitrógeno. = 1.9 lbs.

	ESCREMENTO	HIERBA	TOTAL
Carbono	3.8	1.9	5.7
Nitrogeno	0.32	0.13	0.45

Nitrógeno es N total en seco y carbono: es C ya sea C total (peso seco) o C''no considerando la lignina - (peso seco).

LA RELACION C:N = $5.7/.45 = 12.6$

La relación C:N de ésta mezcla es baja. Para obtener mejores resultados de digestión se debe añadir más excremento de pollo en la mezcla, de modo que se consigue aumentar la relación.

3.1.2. Dilución

La normal actividad de los microorganismos productores de metano requieren cerca de 90% de AGUA en el material fermentado y 8 - 10 % de sólidos totales.

En la práctica, la cantidad de agua puesta en el tanque es calculada de acuerdo a la estimación que se haga del contenido de humedad del material a ser fermentado.

Cuando la materia prima es convertida en un digestor, sólo una parte del desecho orgánico se convierte en Metano, y el resto en sedimento. La Digestibilidad" y otras propiedades de la materia orgánica son visiblemente expresadas en los siguientes términos:

HUMEDAD: Es el peso de AGUA que se pierde cuando se seca a los 105°C., hasta que no se pierda más peso.

SOLIDOS TOTALES: S.T.: El peso de la materia prima remanente que se queda después de ser secada como arriba. El peso (ST) es usualmente equivalente a "peso seco" (sin embargo, si uno seca su material en el sol, asumase que contendrá todavía alrededor de 30 % de humedad) ST está compuesto de material orgánico digerible o sólidos volátiles (VS), y residuos indigeribles o sólidos fijos.

SOLIDOS VOLATILES (VS): El peso del sólido orgánico que se gasifica, cuando el material seco es "prendido" (calentado alrededor de 538°C), de modo que VS puede ser considerada como la cantidad

de sólido convertidos por la bacteria.

SOLIDOS FIJOS (FS): Peso remanente después de la ignición. Este es el material biológicamente inerte.

Como un ejemplo, consideremos el excremento fresco de los pollos.

Si se tiene 100 lbs. de excremento fresco de pollo, 72 - 80 libras de ésta es agua, y solamente 15-24 libras (75-80% de sólidos volátiles del 20 - 28% de los sólidos totales) sería lo disponible para la digestión. Ver figura 3.2.

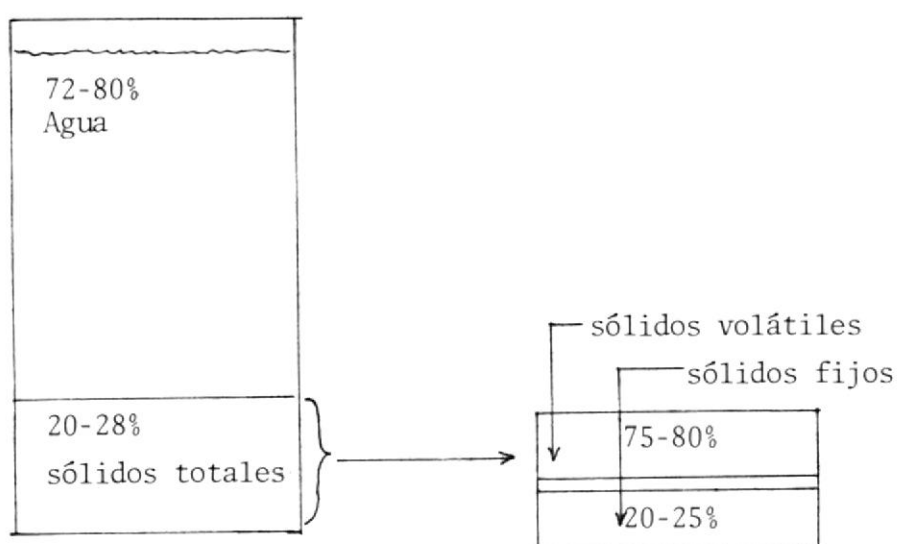


FIGURA 3-2

PROPIEDADES DEL EXCREMENTO DE POLLOS

El proceso Tanda (por lotes) utiliza menor dilución que un digestor con proceso continuo y por lo que se encuentra en los primeros el 40 al 60 % de sólidos totales, debido a que generalmente en éste sistema se introduce materia muy polimerizada con lignina y fibras que necesita baja dilución (ya que la descomposición es lenta) siendo por eso muchas veces necesaria una prefermentación aeróbica. Para éste proceso es recomendable cuando el material a cargarse es muy húmedo, dejarlo apilado al aire libre por unos 10 a 15 días, de modo que reduzca el contenido de humedad de los materiales frescos, a la vez que inician su degradación.

Para digestores continuo, OLADE(16) recomienda en lo posible una dilución 81 - 96 % para el excremento de ganado bovino, pero generalmente utiliza el 92 % de dilución para algunos residuos orgánicos. Ver tabla 3.3.

3.1.3. Control del Ph

Se define el Ph., como el logaritmo del recíproo

co de la concentración del ion hidrógeno, es una medida de la acidez o la alcalinidad.

Un ph de 7 se considera neutro, menor que 7 ácido y mayor que 7 alcalino.

Cuando el material orgánico es fermentado en un proceso Tanda, el proceso de la digestión puede ser seguido por el cambio de la acidez, ver la figura 3.3. Una conveniente medida de cuan ácido o alcalino es el líquido, es el Ph.

La bacteria inicialmente hace un rompimiento de la bacteria orgánica y produce ácidos grasos volátiles. Como resultado la acidéz general del material digerido se incrementará y el Ph., caerá bajo del neutral. Después de un par de semanas la bacteria metanogénica comenzará a hacer sentir su presencia y la producción tenderá a bajar.

Otro factor que tiende a incrementar el Ph, durante este tiempo es el contenido de amoníaco, que se incrementa cuando la proteína es degradada.

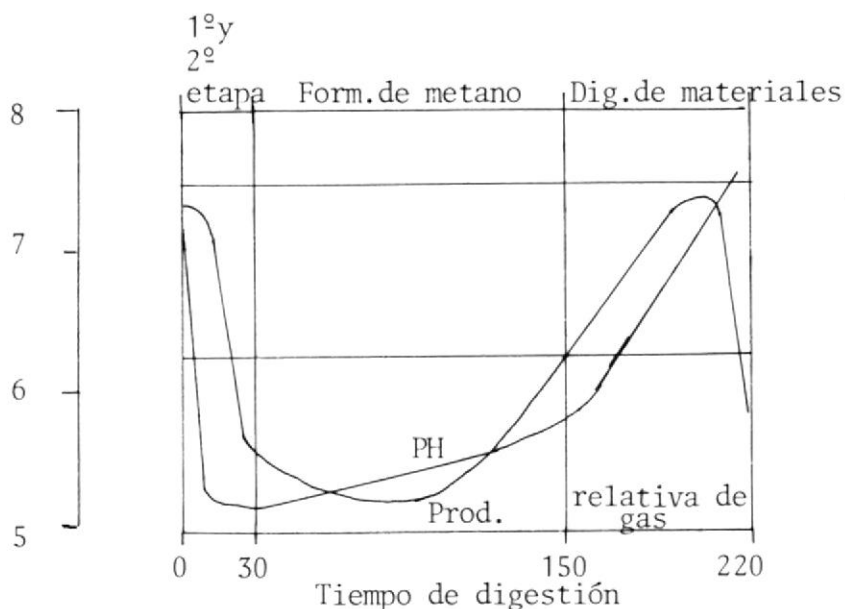


FIG.3.3 Proceso de digestión de sólidos orgánicos
(Tomado de Methane:Planning a digester. (13))

Amoníaco (NH_3) disuelto en agua es un alcalí (NH_4OH). Este tenderá a neutralizar el ácido. Sin embargo, cuando el Ph. se incrementa arriba del punto neutral, el amoníaco en exceso comienza a ser muy tóxico a las bacterias productoras de metano.

Después de un digester tanda ha sido operado por varias semanas el Ph, aumenta y bajo estas influencias la generación de metano comienza hasta llegar a su pico, sin embargo, después de varios meses la materia llega a ser totalmente degradada y la producción de metano tiene su fin. Ver fig. 3.3.

Cuando se carga recién un digestor la población bacteriana tendrá una gran proporción de ácido fórmico con un alto contenido orgánico, que hará que el ph., baje.

Cuando la población es balanceada entonces el Ph llegará al óptimo (entre 7 y 8). Sin embargo, si las condiciones ambientales cambian rápidamente, la acción de los productores de metano será inhibida, produciendo abundante cantidad de ácido fórmico de tal manera que en el digestor existe un desbalance desfavorable a la digestión anaeróbica.

Si el contenido de un digestor llega a ser muy ácido, una de las vías de restablecer el balance en una pequeña escala, es parar la alimentación del digestor por varios días. En éste tiempo dado las bacterias se reafirmarán y reducirán la concentración de ácidos grasos. Este procedimiento no es posible a gran escala.

Las causas por las cuales ocurre un descenso del

del tipo de bacterias que se adapten y desarrollen.

La temperatura es como el Ph., muy crítica en ciertos momentos durante el proceso de producción de Biogas.

Hay generalmente tres rangos reconocidos en que diferentes grupos de bacterias anaeróbicas operan cada uno de estos términos están relacionados con la temperatura del rango de vida (o "AMOR") Philos - significa "AMOR" según la antigua Grecia, y, crio meso y termo significan frío, mediano y caliente, respectivamente.

Estas bacterias son las psicrófilas (ambiente frío) mesófila (mediano frío) y las termofilas (ambiente caliente).

Las bacterias del rango criofílicas o psicrofílicas consideradas capaces de sobrevivir en el rango de 0 a 5°C. (32 a 40°F), el rango mesofílico requiere de 21 a 40°C (70 a 105°F) y el rango termofílico - necesita de 40 a 60°C. (104 a 140°F).

Para el desarrollo óptimo del proceso, se distinguen dos rangos de temperatura, el mesofílico de 30 a 40°C y el termofílico de 55 a 60°C.

3.2.1.1. Rango Mesofílico:

Para la mayoría de las aplicaciones, la digestión de las mesofílicas es la mejor, las temperaturas involucradas (21-40°C ó 70 - 104°F), son necesariamente bajas y más fácilmente mantenidas, y las bacterias no son tan sensitivas al cambio de temperatura. La temperatura óptima, está entre 30 - 40°C.

La producción de Biogas es muy baja abajo de los 15°C (60°C), sin embargo la digestión de los materiales orgánicos - continúan más abajo de esta temperatura.

3.2.1.2. Rango Termofílico:

Las bacterias termofilas tienen algunas desventajas que las hacen no recomen-

bles para el generador de biogas que usa solamente tecnología simple. no es que aquellas no puedan ser usadas. pero puede ser que exista más dificultades en ser utilizadas.

El rango de temperatura para las bacterias termofílicas es de 40-60°C. - (104 - 140°F). La óptima está entre 50 - 60°C. Estas temperaturas requieren de más energía para mantenerla en el generador, pues si la temperatura de Guayaquil está entre 20 - 34°C., la temperatura del digestor tenderá a este rango. Además ha sido reportado - que éstas bacterias son más sensitivas al cambio de temperatura, de modo que para mantener constante la temperatura, de cualquier manera se hace un calentamiento aceptando como máximo una variación de 2 a 3°C de temperatura - interna del digestor.

"Sin embargo, experimentos hechos por

Heukelekian y Kaplovsky en 1948 muestra que la bacteria termófilas son muy capaces de tolerar cambios de temperatura y responden bien cuando retornan a su temperatura "normal" después de la caída a un valor bajo (frío), aún si el valor "frio" fue mantenido por algún tiempo.

Este estudio también señala que mientras organismos termofílicos viven en el rango de las mesófilas (21-40°C). lo opuesto no es verdad. Esto es, organismos mesófilos generalmente no pueden sobrevivir con las temperaturas termófilas.

Esto deberá tomarse en cuenta cuando se trata de calentar el digester para no crear zonas muy calientes que afecten las bacterias mesofílicas.

Otra desventaja reportada de la digestión termófila es que el material transformado de la digestión termofílica no tiene un gran valor como fertilizante como el

de la digestión mesofílica que si vale. El lodo de la digestión termofílica, la porción fija del efluente, no tiene mucho nitrógeno porque está en el líquido sobrenadante, arriba del lodo o sedimento. El efluente global tiene mucho N como lo tiene el efluente del generador mesofílico, pero en una forma diferente como amoníaco (NH_3) y otros componentes solubles.(10)

Existe la evidencia que a alta temperatura, más H_2S es producido.

Esto puede ser un inconveniente cuando el Biogas es usado para ciertos propósitos. El efluente olerá también más, que puede ser más molesto para todos. (10).

La ventaja principal para la generación termofílica de biogas es que el potencial en el sustrato es generado más rapidamente. Esta es una ventaja, tener

una tasa alta de producción de gas, sin embargo, no es un incremento total en la producción de gas, aproximadamente la misma cantidad total de gas será producida en la temperatura de 21-60°C. (rango mesofílico). El ahorro de tiempo llega a ser ahorro de espacio, pero a más alta temperatura más gas es producido por día y por unidad de volumen de generador. En otras palabras, un generador con volumen más pequeño dará la misma cantidad de gas a alta temperatura que un generador de gran volumen y que trabaje a baja temperatura. El tiempo de residencia se reduce proporcionalmente.

Un estudio (Fong 1973) mostró un incremento de 200 % en la tasa de producción de gas a 42°C (107°F), comparándola con la tasa a 32°C (90°F). Otro estudio (Savery y Canzen, 1972) y en muy corta vida (8-9 días) mostró 130 litros de biogas por kilogramo de excremento bovino

mojado (130 lt/kg. mojado) a 50°C -
122°F. (10)

En este estudio la alta tasa (termofílicamente producida) de producción de biogas tenía un 60 % de CH₄ (metano), la baja tasa (mesófilas) dió un biogas de solamente 50 % CH₄. Esto significa, si se pone a calcular, que a esa temperatura produce cerca de 80 litros de CH₄, pero solamente 46 litros de CH₄ - fue producido con baja temperatura. La dramática diferencia es probablemente al efecto que en ambos casos produjo - el oxígeno, si se asume que este elemento fue introducido con el elemento mojado y el generador termofílico saca más rápidamente el oxígeno y comenzó a producir menos CO₂ y más CH₄. Sobre una larga producción, las mesófilas producen mayor cantidad. Otros estudios no han mostrado esta clase de diferencia, posiblemente debido a que el proceso fue vigilado por mucho más tiempo.

Obviamente existe cierta incongruencia aparente entre los resultados reportados en la literatura. Se requiere mayor investigación para dilucidar estos puntos y las condiciones de aplicabilidad de los resultados.

Para más largo funcionamiento se podría llegar a que se gastaría más en calentamiento que la energía ganada en el biogas, a menos que el calentamiento requerido es debido al clima o algún otro mecanismo, sean de bajo costo. Por estas razones la digestión termofílica no es recomendada para generadores en lotes, como para generadores a pequeña escala para un largo funcionamiento. Sin embargo la digestión termofílica - algún aspecto fuera de lo económico de tener que justifica su investigación, además es posible creer que aditivos podría simular muy rápidamente digestión termofílica a baja temperatura.

En la práctica, sobre todo en pequeños

sistemas instalados en el medio rural, no se controlan la temperatura del proceso y se trabaja a temperatura ambiente sin proporcionar calor al digestor. Una forma simple de aumentar la temperatura de operación y con ello la cantidad de biogas producido, es calentar el agua con la que se va a efectuar la mezcla, por ejemplo en calentadores solares. En la mayoría de los casos los digestores se construyen enterrados para evitar que se pierda calor.

3.2.2. Presión

Hay poca o ninguna información disponible acerca de los efectos al incrementarse la presión del gas en el proceso anaeróbico.

Para aplicaciones simples del proceso de generación de biogas, la presión es generada por el propio digestor como resultado de la propia eva

luación del gas, lo que permitiría que fluya a través de tuberías desde la fuente hasta los lugares de consumo, y suministrar la tasa de gas que debe fluir y que es necesaria para cualquier aplicación (luz, calor, electricidad, etc.).

Es indudablemente cierto que un incremento de presión en la parte superior del sustrato retardará la formación de gas, pero ¿en qué grado?, porque? y ¿Cómo puede afectar esto a la composición del gas? ; estas y muchas otras preguntas todavía no se han podido responder en forma satisfactoria, apoyadas por demostraciones científicas.

Mientras tanto, una referencia (Babbit y Bauman) 1958, establece que la presión admitida en la parte superior de la materia prima en digestión deberá no exceder de 15 a 18 cm. (6 a 7 pulg) de agua. Hay también un reporte que establece que una planta estuvo operando con aparente éxito, a una presión de 25 cm. (10 pulg) de agua (sewage work journal, june 1954). (10)

Un incremento en la presión aumentará la cantidad de CO_2 disuelto en el sustrato, y afectará al pH produciendo ácido carbónico. El efecto de incrementar la presión puede hacer (se presume) que la adición de agentes amortiguadores como la cal, sean neutralizados o disminuidos en sus efectos.

Se habló antes en términos de "centímetro de agua", o pulg de agua. La presión es medida en biogas de esta manera. Esta forma convencional de medir la presión se popularizó porque este método de medición no es costoso y es simple consiste en una manguera transparente en "U" como manómetro. El un extremo está conectado al digestor y el otro a la presión atmosférica. La figura 3.4 indica un esquema.

Como se observa en la figura 3.4, el fluido que entra por el lado izquierdo hace que la columna de agua no se encuentre en el mismo nivel para cada brazo del tubo en "U". Cuando el agua levanta el lado derecho del tubo significa que la presión ejercida por el gas es mayor que la pre

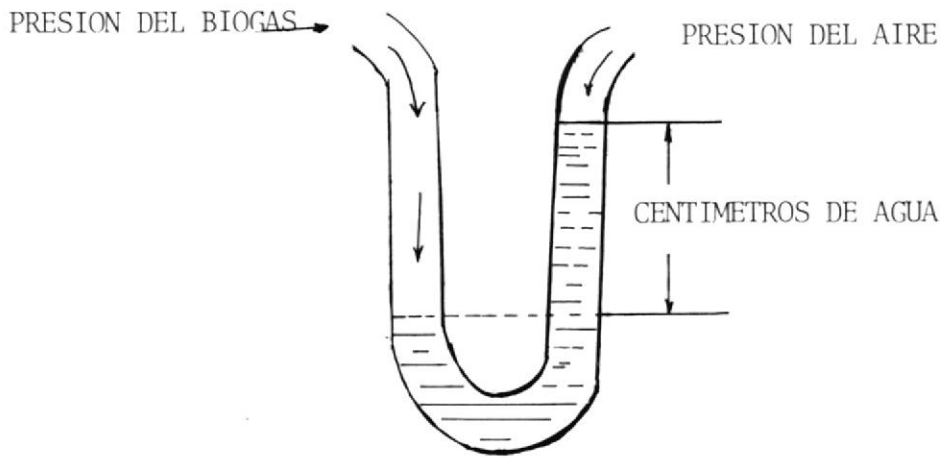


Fig.3-4. Esquema de una manómetro de agua.

sión atmosférica, y la diferencia está dada en alguna unidad de longitud, que se la mide con el nivel del otro brazo del tubo. Mientras mayor es la diferencia, mayor es la presión, hasta que si se ejerce demasiada presión el agua saldrá del tubo. Si la presión del igual a la presión atmosférica, el agua del tubo tiene un mismo nivel para cada lado del tubo.

Por lo general existen tablas que convierten - los cm., de agua o pulg. de agua en otras uni

dades de presión como:

PSI, Kg/cm^2 , Pascal, Bar, etc.

Debido a que las presiones generadas en el proceso de biogas no son elevadas se puede usar perfectamente manómetros con pequeñas columnas de agua (60-80 para cada brazo).

3.2.3. Tamaño del residuo

Se estableció anteriormente que la materia prima incluye cualquier residuo orgánico - biodegradable a corto plazo, por lo que existen materiales a los cuales el tamaño del residuo no es parámetro importante, por ejemplo excrementos de animales, pero si lo es para los residuos vegetales en donde una variación en la longitud y forma de rastrojos, cáscaras, tallos, etc., afectan a la producción y otros parámetros. Según una experiencia presentada en el manual de biogas, publicado por OLADE, que trata sobre el cambio de tamaño de residuo de di

versos materiales, entre ellos: rastrojo de sorgo, cáscara de cañahuate, paja de arroz, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

"El empleo del material en forma molida produce mejores resultados que en forma picada, tanto en volumen de biogas producido como en su contenido de metano.

Una desventaja del uso de rastrojo molido es que el inicio de la producción de gas combustible requiere de un tiempo más largo que cuando se utiliza rastrojo picado, y su producción no es uniforme.

El comportamiento anterior no se observa al emplear rastrojo de maíz molido, el que empieza a producir gas combustible en un tiempo corto; produciendo un volumen total de biogas mayor que el estiércol de bovino solo, pero con un contenido menor de metano!"(15)

3.3. PARAMETROS OPERACIONALES

Ahora es conveniente dar una breve explicación de los parámetros que controlan la operación del proceso y que entre otros son los siguientes:

Porcentaje de sólidos (P.S.), tiempo de residencia (TS)
Tipo de Operación, agitación y producción.

Es conveniente aclarar que a pesar de que es recomendable operar los sistemas, lo más cercano posible de las condiciones óptimas para lograr una buena eficiencia de generación de biogas, lo que no es siempre posible. Por lo tanto se deberá buscar las mejores condiciones dentro de las posibilidades en el medio, manteniendo la operación sencilla y sin complicaciones para el usuario.

3.3.1. Porcentaje de sólidos

Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida; esta última es llamada - "sólidos totales".

El porcentaje de sólidos totales contenido en la mezcla con que se carga el digestor, es también un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria.

"Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9 % de sólidos totales es óptima para la digestión". (15)

Para calcular el volumen de agua que debe ser mezclado con la materia prima para dar la proporción deseada, es indispensable conocer el porcentaje de sólidos de ésta. En el caso del estiércol de bovino fresco, que tiene de 17 a 20 % de sólidos totales, se deberán agregar de 1 a 1.5 litros de agua para cada Kg., de estiércol para así obtener una mezcla de alrededor de 8 % de sólidos totales. (15)

En la tabla 3.2, se presentan datos promedio sobre el contenido de sólidos totales de diversos desechos, y la cantidad que hay que agregar por kg. fresco para obtener el 8 % sólidos totales -

deseados.

Estos datos solo se dan como una guía, ya que la humedad contenida en un material depende de muchos factores externos entre ellos, la temperatura ambiente, las lluvias, el tiempo que lleva expuesto al aire, etc.

3.3.2. Tipo de Operación

Resulta conveniente clasificar los digestores, según su modo de operación, en los siguientes tipos:

MATERIAL	SOLIDOS TOTALES (%)	LT.DE AGUA POR KG.DE DESECHOS PARA OBTENER 8% DE SOLIDOS TOTALES.
Heces humanas	17	1.1
Estiércol de vacas	20	1.5
Caballos, bueyes y mulas.....	25	2.1
Cerdos -	18	1.3
Ovejas	32	3.0
Gallinas	44	4.5
Cáscara de cacahuete	96.6	11.1
Hojas secas	50.0	5.3
Rastrojos y hojas de maíz.....	77.0	8.6
Papel periódico	93.0	10.6

Tabla 3-2.-Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos desechos (17).

- De lotes (régimen estacionario o tandá)

- De regimen semi-continuo

- Horizontales de desplazamiento

- De régimen continuo

- Otros

3.3.2.1. Operación en digestores por lotes

Estos digestores se cargan una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que han dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en un tanque hermético con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el gas.

Este sistema es aplicable en situaciones particulares, como sería la de materia orgánica que presentará problemas de manejo de un sistema continuo o cuando la materia a procesar esta disponible en forma intermitente. En estos casos ge

neralmente se usan varios digestores cargados a diferentes tiempos para tener siempre biogas - disponible. Otro ejemplo sería cuando el interés primordial es la obtención del fertilizante orgánico, el cual se requiere en épocas específicas del año, en la época de siembra.

También son totales a nivel de laboratorio para evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un desecho o mezcla de desechos.

3.3.2.2. Operación de digestores de régimen semicontinuo

Este es el tipo de digestores más usado en el medio rural, cuando se trata de pequeños sistemas para uso doméstico. Los diseños más populares son el Hindú y el Chino.

3.3.2.3. Digestores tipo Hindú:

Existen varios diseños de estos digestores pero en general son verticales y enterrados, semejando un pozo, como se ve el esquema de la figura 3-5. Se cargan por -

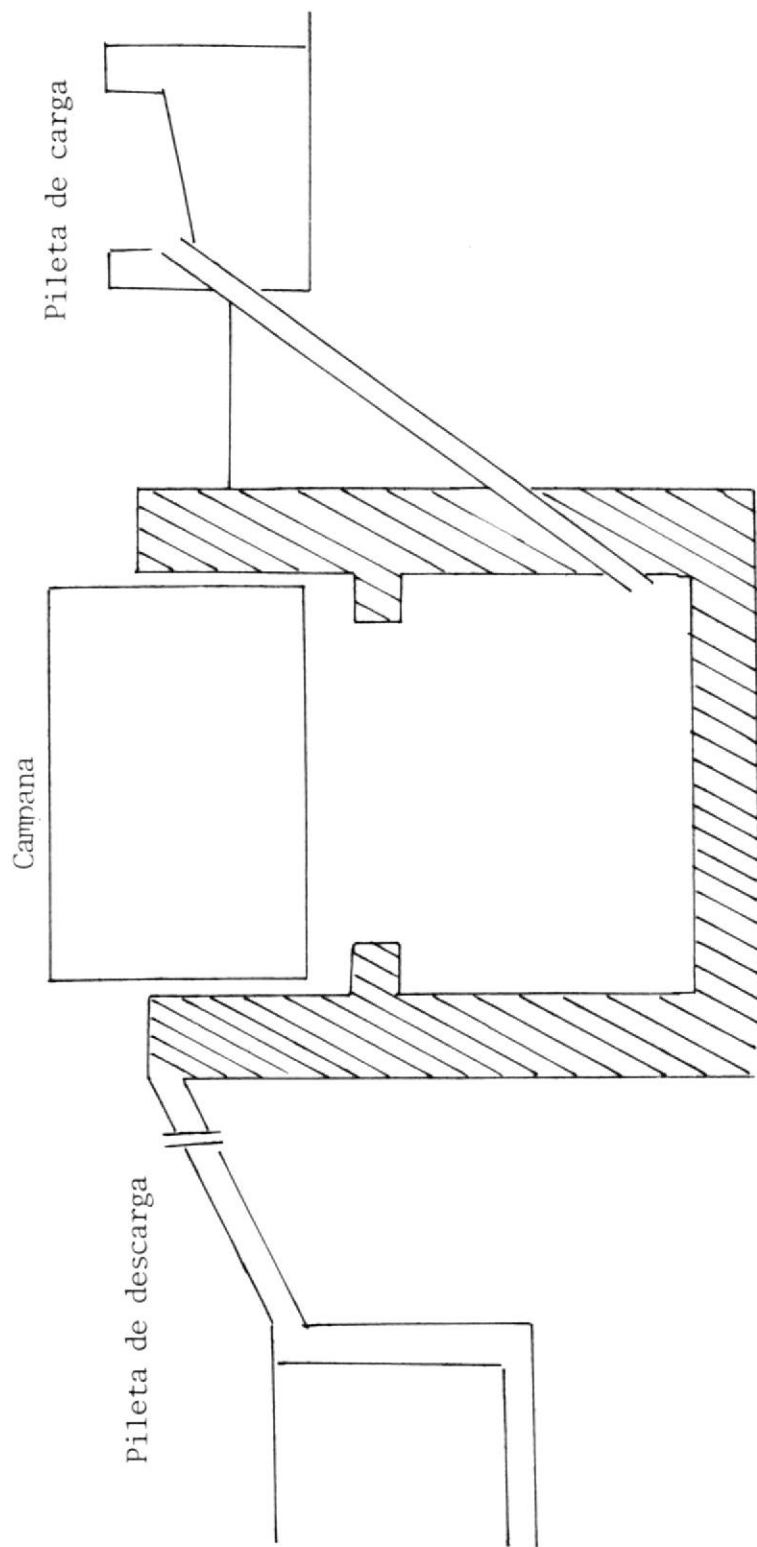


FIGURA N° 3-5
DIGESTOR TIPO HINDU DE 4 m³ DE CAPACIDAD

gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria, más o menos constante de biogas, si se mantienen las condiciones de operaciones.

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas, balanceada por los contrapesos, y de esta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20 cm., de columna de agua, lo que facilita su salida desde el seno de la misma. Además, la presión de utilización del biogas es constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. En caso de requerir una presión mayor, simplemente se quitan los contrapesos, o se colocan sobre la campana. Por lo general el volumen del gasómetro es del orden de $1/3$

del biogas generado por día.

La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos.

El digestor normalmente se construye de ladrillos, con un aplanado interior de cemento pulido para evitar filtraciones, pero también puede utilizarse otro material de construcción comunes en la región. La campana puede construirse de lámina de hierro, de fibra de vidrio o de otro material con la condición de que no se permita la fuga del gas. El material de la campana se deberá seleccionar con cuidado, ya que esta parte del sistema puede resultar costosa.

Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogas, generalmente entre un .5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más. Como la carga está al nivel del suelo, es fácil sacarla una vez al año para pintarla y al mismo tiempo extraer las natas que se han formado en la superficie de la mezcla. Se tiene control sobre el material que se alimenta, lo que permite una operación uniforme.(17)

3.3.2.4. Digestor Tipo chino:

Los digestores de este tipo como aparece en la figura 3-6, son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados.

Al iniciar el proceso se llena con material compactado mezclados con lodos activados de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, se va alimentando dia

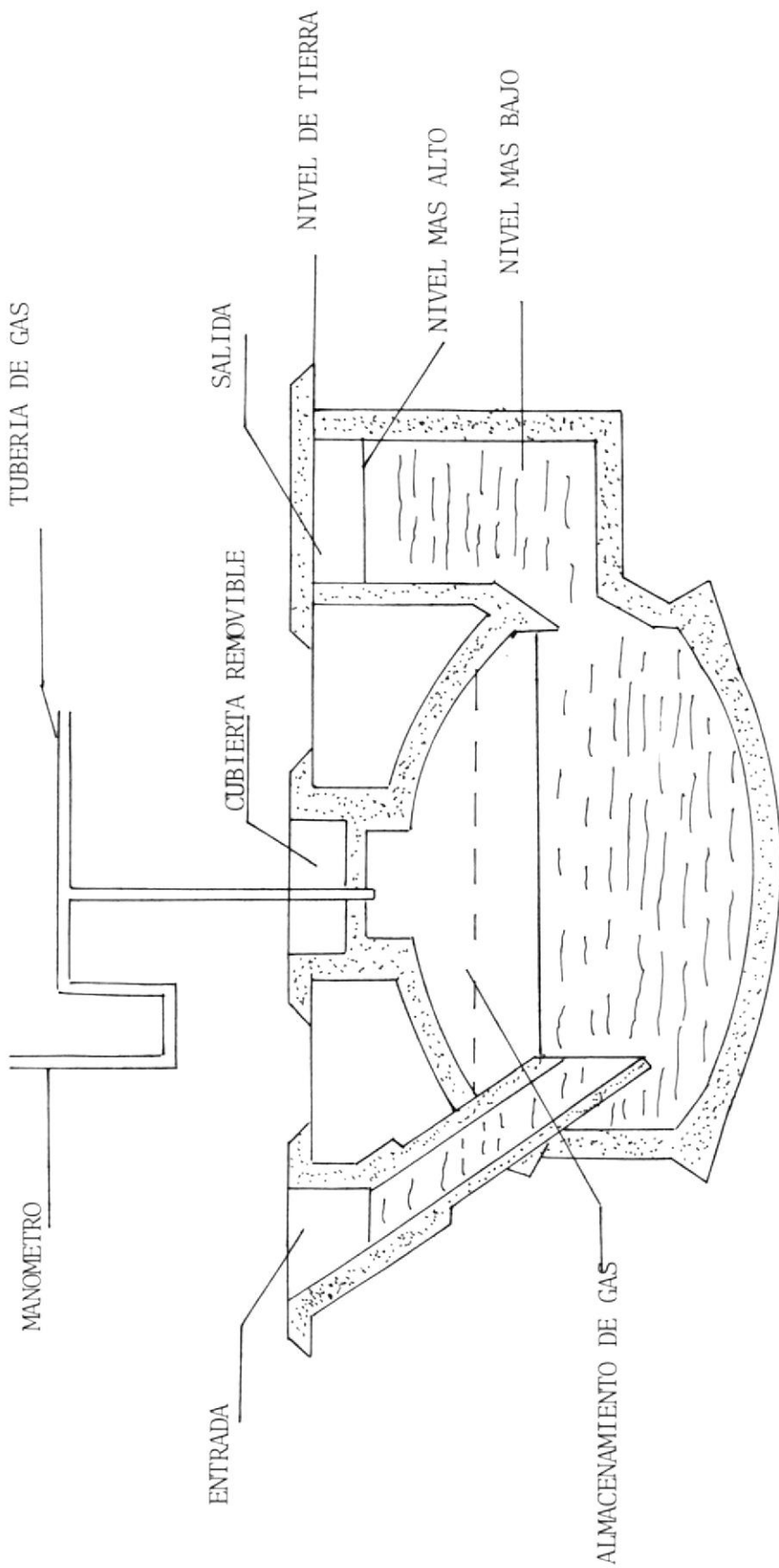


FIGURA 3-6
 DIGESTOR TIPO CHINO

riamente con los desechos que se encuentran disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través de los tubos de carga el cual - llega a la parte media del digestor. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogas dentro - del mismo sistema (gasómetro incorporado). A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegándose a alcanzar presiones internas de más de 100 cm., de columna de agua. Como consecuencia de la variación de la presión, la que sube al generarse el gas, y baja al empezar a utilizarlo, se reduce la eficiencia de los equipos en que se usa. Si la presión sube a valores muy altos, aumenta el riesgo de fuga de gas a través de microporos en el domo y también la probabilidad de que se formen fisuras por movimientos ligeros de las paredes. La

filtración a nivel de la mezcla en fermentación aumenta al contacto de la fase líquida con el oxígeno del aire, reduciendo la actividad de las bacterias generadoras de metano, y la alta presión impide que el gas salga libremente del seno de la mezcla, todo lo cual conduce a menor eficiencia de generación de biogas en los digestores tipo chino, en comparación con los del tipo hindú.

Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta, una a dos veces al año el digester se vacía completamente aplicando el residuo a los campos de cultivo.

Los digestores se construyen casi siempre por los mismos usuarios, con asesoramiento de un técnico especializado, a partir de ladrillos, bloques prefabricados o por vaciado integral de concreto ligero sobre la propia tierra.

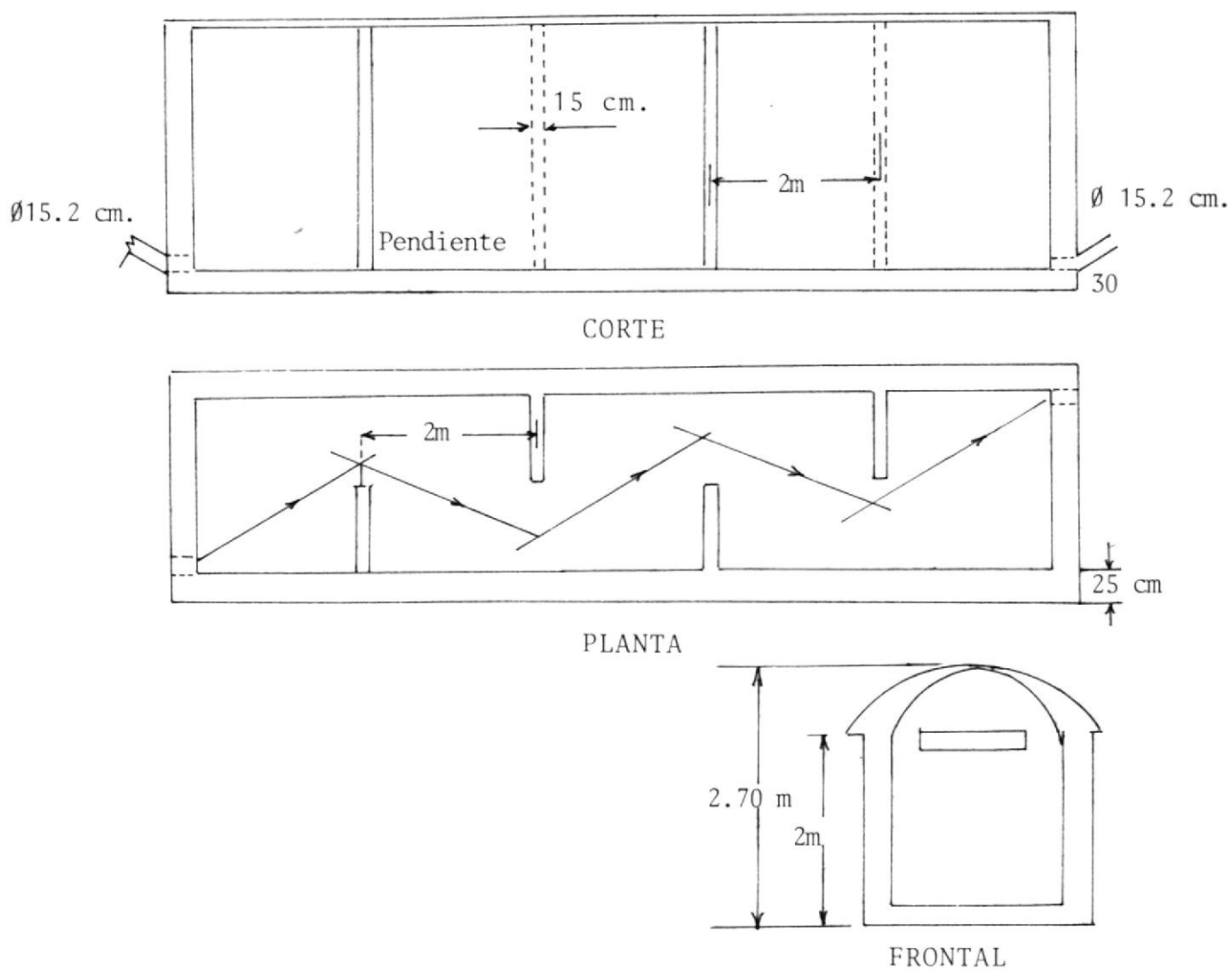
A pesar de que el digestor tipo chino es poco eficiente para generar biogas, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos, y además se tiene disponible una gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con la tierra antes de la siembra.

3.3.2.5. Digestores horizontales de desplazamiento:

Generalmente se construyen enterrados y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo y ancho de 5 a 1 hasta 8 a 1 y sección transversal circular, cuadrada o en v.

En la figura 3-7. se presenta un diagrama de este tipo de planta. Se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del digestor, y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula, puede ser rígida o de algún material fle

FIGURA 3-7
DIGESTORES HORIZONTALES DE DESPLAZAMIENTO



xible que no presente fuga de gas y que resista las condiciones de intemperie. El gas generalmente se colecta en esta cúpula, de la que puede pasar a un gasómetro flotante.

Este tipo de digestor se recomienda - cuando se requiera trabajar con volúmenes mayores de 15 m^3 , para los cuales - la excavación comienza a ser muy problemática; o sea que están más bien enfocado a la generación de biogas para aplicaciones comunales, como puede ser el accionamiento de pequeños motores para bombeo, molienda, o generación de electricidad.

3.3.2.6. Digestores de régimen continuo:

Este tipo de digestores se desarrollaron principalmente para tratamiento de aguas negras, y en la actualidad su uso se ha extendido al manejo de otros sustratos. En general son plantas muy -

grandes en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlas, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto este tipo de plantas son más bien de tipo industrial, donde se genera una gran cantidad de biogas el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales.

3.3.2.7. Otros tipos de digestores:

La investigación en el tema de fermentación anaeróbica buscando, aumentar la eficiencia de generación de biogas y de degradación de la materia orgánica reduciendo el tiempo de retención, ha llevado al desarrollo de diversos tipos de digestores, como son los llamados filtros anaeróbicos. En estos sistemas de alimentación continua y alta dilución (1 a 1.5 % de sólidos totales), por medios físicos se logra retener los microorganismos durante 20 a 30 días, mien-

tras que el líquido activo pasa a través del sistema de 1 a 5 días. Con esto se logra reducir en forma significativa el tamaño de la planta, con la consiguiente disminución de los costos de instalación y operación, mejorando la eficiencia de generación de biogas.

Otro sistema que se encuentra en desarrollo son los digestores de etapas múltiples diseñados para aislar grupos de bacterias en cámaras separadas, cada una de las cuales trabaja en condiciones óptimas para el desarrollo del tipo de microorganismo que contienen.

Con este sistema se logra una mayor degradación de la materia orgánica alimentada, con el consecuente aumento de la cantidad de biogas generado.

3.3.3. Tiempo de Residencia (TR)

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, ya que

a mayores temperaturas el tiempo de residencia requerido para una buena producción de biogas es menor, según se observa en la figura 3-8.

En un digestor que trabaja a régimen estacionario o sea por lote, el tiempo de residencia es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga.

En un sistema de carga diaria, el tiempo de residencia va a determinar el volumen diario de carga que será necesario alimentar al digestor. va - que se tiene la siguiente relación:

$$\frac{\text{Volumen del digestor}}{\text{Tiempo de residencia}} = \frac{\text{Volumen de carga diaria}}{(\text{M}^3/\text{día})}$$

El tiempo que permanecen los sólidos volátiles en un digestor es una parte fundamental del proceso y representa el tiempo promedio durante el cual - la materia orgánica es atacada por los microorga- nismos. A este tipo se le denomina tiempo de "re

sidencia" o "retención" en el digestor. Determina la fracción del biogas que es posible obtener a tiempo de residencia muy largo. De aquí que es necesario llegar a un compromiso entre el volumen de biogas que se va a producir y el tiempo de residencia a que se opere el sistema.

De acuerdo a la figura 3-8, la cantidad de biogas que es posible a partir de una masa dada aumenta al incrementarse el tiempo de residencia, pero - hasta cierto tiempo. Sin embargo la cantidad de biogas producida en un volumen dado de digestor, aumenta al disminuir ese tiempo, si analizamos la relación anterior correspondiente al volumen de carga diaria.

La sección del tiempo de residencia estará en función de las necesidades energéticas locales, y de materia prima y mano de obra. Para un volumen dado de digestor, la operación de un tiempo de residencia corto, que produce una mayor cantidad de biogas que la operación a un tiempo más largo, implicará un aumento sustancial de la materia prima que deberá cargarse diariamente, lo que trae con

sigue un aumento de las horas hombre requeridas.

El tiempo de la materia orgánica en el digesto - está fuertemente ligado a la temperatura de operación, ya que al trabajar a temperatura cada vez más cercana a la óptima de 35°C, los tiempos de residencia se reducen al conseguir mayor velocidades de producción, aprovechándose mejor el volumen de producción y obteniéndose además una mayor cantidad de biogas por kg. de materia procesada, como muestra la figura 3-8.

Para digestores de carga continua trabajando en condiciones mesofílicas, los tiempos de residencia típicos van de 20 a 45 días. En sistemas estacionarios, normalmente se trabaja a tiempo más largos, llegando hasta 90 días.

3.3.4. Agitación

La generación de biogas depende totalmente de que las bacterias cumplan su función óptima su ciclo biológico y de allí la importancia de darles las -

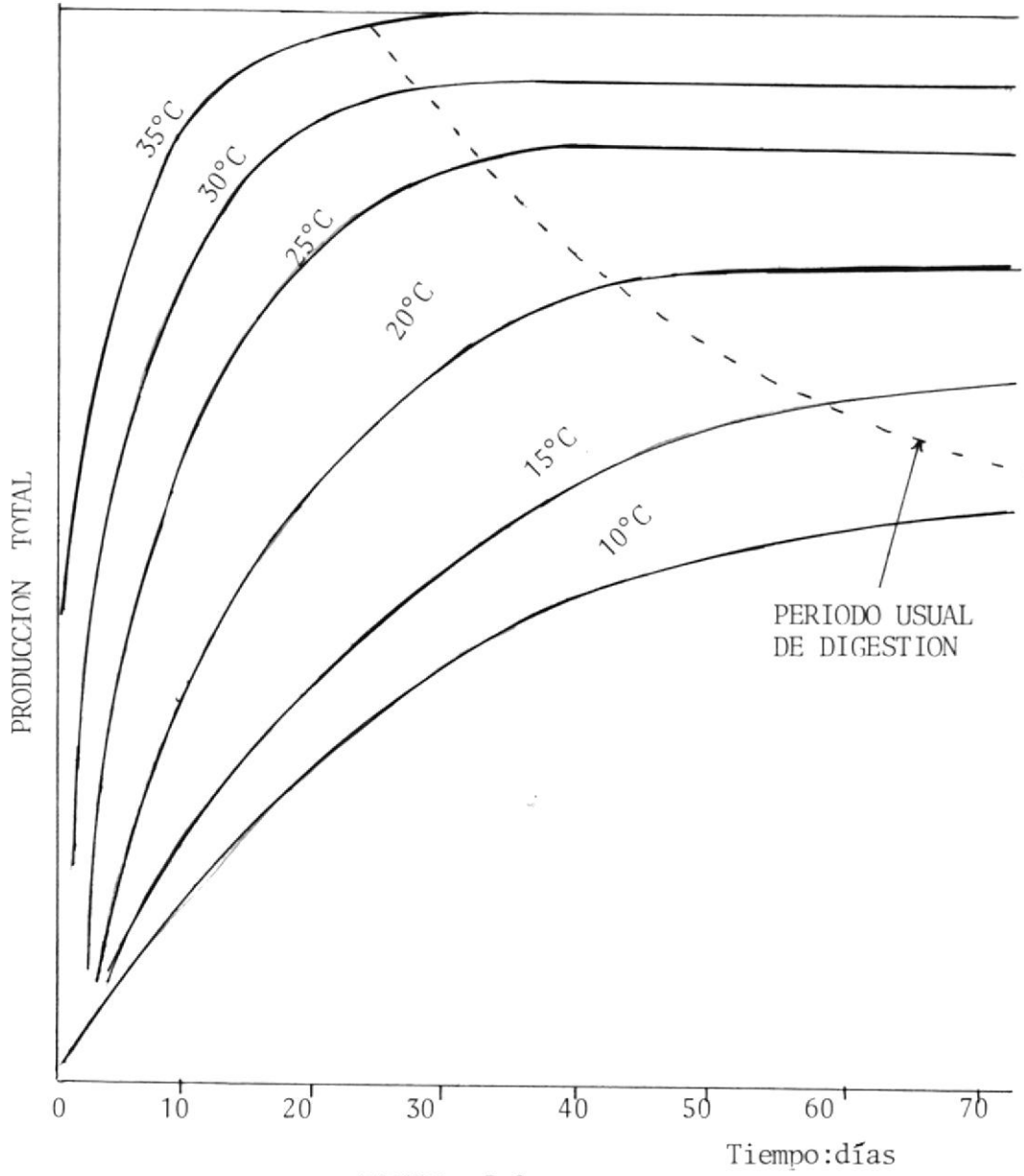


FIGURA 3-8

PRODUCCION DE GAS A DIFERENTES TEMPERATURAS

mejores condiciones para que ocurra esto . Los microorganismos y la materia prima o sustrato deben estar en íntimo contacto, por lo que es necesario agilitar la masa internamente del digestor, que proporciona además una temperatura interna más uniforme. Esta agitación puede hacerse por medios mecánicos, por recirculación de la mezcla o bien recirculando el biogas a través de difusores en el fondo del digestor.

Con planta de gas operando a nivel mesófilico, la agitación requerida es muy leve siendo suficiente la que provoca la carga diaria al entrar al digestor. En el caso de digestores que trabajan a nivel termofílico, la agitación requerida es continua para establecer un mejor contacto entre bacterias y sustrato, proporciona además una temperatura interna más uniforme.

"En la superficie de la mezcla se tiende a formar una 'nata' debido al material fibroso no digerible. la cual se debe romper por medios mecánicos para que el biogas salga libremente del seno de la mezcla". (13)

El grado de agitación varía considerablemente tanto en el proceso t_{anda} como en el continuo. Algunos digestores tipo t_{anda} presenta la situación - de cero agitación y por eso son bastante ineficiente para ciertos tipos de residuos orgánicos.

En ausencia de agitación el sustrato se estratifica como el mostrado en la figura 3-9.

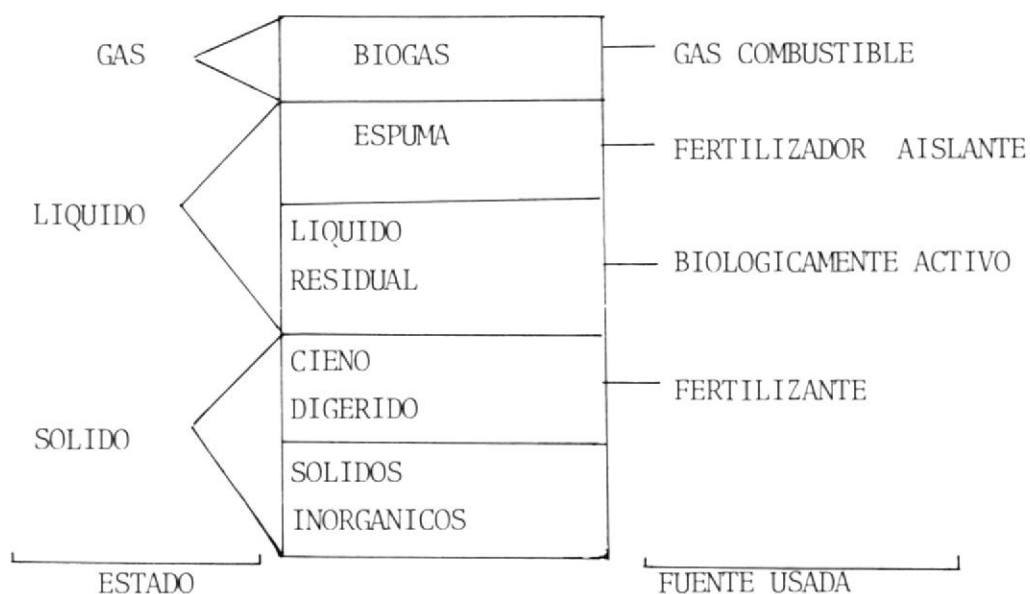


Fig.3-9 CONTENIDO DEL DIGESTOR ESTRATIFICADO POR AUSENCIA DE AGITACION.

3.3.5. Producción de Biogas

El digestor produce el biogas que es una mezcla de gases cuyos componentes principales son el metano y el bióxido de carbono. el cual aparece como resultado de la materia orgánica que se biodegrada en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos.

Cuando esta mezcla de gases se produce en forma natural, se le llama "gas de los pantanos"; fue descubierto y reportado por Shirley en 1667 y es el responsable de que se le llamara fuego fatuo. Volta fue el primero en reconocer una relación entre el gas de los pantanos y la vegetación en descomposición en el fondo de los lagos.

En 1808, Sir Humphrey Davy colectó el metano e inició la experimentación en este campo, sin embargo su interés no estaba enfocado a resolver problemas de energía sino a la población agrícola.

En 1896 el biogas fue utilizado en el alumbrado

de una calle en Exeter, Inglaterra, siendo esa su primera aplicación importante.

En la naturaleza se encuentra una variedad de resíduos agrícolas a partir de los cuales puede obtenerse biogas. En páginas anteriores se presenta la tabla 3-1, en donde se dá algunos ejemplos.

La composición del biogas depende del tipo de desechos utilizado y las condiciones en que se proceda. En promedio su composición es la presentada por la tabla 3-3. (15)

COMPOSICION DEL BIOGAS	% EN VOLUMEN
Metano (CH ₄)	55 - 65
Dióxido de carbono (CO ₂)	34 - 45
Nitrógeno (N ₂)	0 - 3
Hidrógeno (H ₂)	0 - 1
Sulfúro de Hidrógeno (H ₂ S)	0 - 1

TABLA 3-3
COMPOSICION DEL BIOGAS(15)

El metano es un gas combustible, incoloro, cuya combustión produce una llama azul claro y productos no contaminantes. Es el principal constituyente del gas natural, ya que más del 90% de este combustible es Metano. Este es el componente energético útil y del contenido de este depende el valor del combustible del biogas (poder calorífico 5000 K cal/m^3). La tabla 3-4 muestra las propiedades más importantes del metano.

El sulfuro de hidrógeno es un componente indeseable porque es tóxico y en presencia de vapor de agua y oxidante forma ácido sulfúrico que puede corroer las tuberías; este puede separarse haciendo pasar el biogas a través de limadura de hierro.

Cuando el biogas se comprime a presiones entre 2000 y 3000 PSI ($140 - 210 \text{ Kg/cm}^2$) es imperativo que antes se le quite el CO_2 para prevenir daños al compresor causado por la liquefacción del CO_2 . Ver tabla 3-5 para los diferentes constituyente del biogas se dan las constante críticas.

TABLA 3-4
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METANO

Formula Química	CH ₄
Peso molecular	16.042
Punto de ebullición (a 1 Atm).	-161.49°C
Punto de solidificación (a 1 Atm.)	-182.48°C
Presión Crítica	47.363
Temperatura crítica	-82.5°C
Gravedad específica	
- Líquido (a - 164°C)	.415
- Gas (a 25°C y 1 Atm.)	.000658
Poder calorífico (a 15.5 y 1 Atm)	9120 K cal/m ³
Aire requerido para la combustión (en m ³ /m ³)	9.53
Límite de flamabilidad	5-15 % volumen
Rango de octano	130
Temperatura de ignición	650°C
Ecuación de combustión	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
O ₂ /CH ₄ para combustión completa	2.00 por volumen
CO ₂ /CH ₄ para combustión completa	2.74 por peso
CO ₂ /CH ₄ para combustión completa	1 por volumen

TABLA 3-5
 TEMPERATURAS Y PRESIONES CRITICAS PARA LOS ELEMENTOS CONS
 TITUYENTES DEL BIOGAS

GAS	TEMPERATURA CRITICA		PRESION CRITICA	
	°F	°C	Psia	Kg/cm ²
CH ₄	-115.8	-82.1	673	47.3
CO ₂	87.8	31.0	1072	75.3
H ₂ S	212.7	100.4	1307	91.9
NH ₃	270.5	132.5	1654	116.3

Tomado de (14)

El parámetro producción está íntimamente relacionado con el tiempo de inicio de producción a partir de la alimentación, y con el tiempo de producción. De igual manera la cantidad de Biogas depende de muchos otros factores como la selección de la materia prima. La tabla 3-6 muestra producciones de biogas a partir de varios desechos.

Los desperdicios de plantas son materiales altamente celulósicos, las más recomendables son la paja y tallos maduros de cereales que tienen más celulosa y menos lignina. En cambio los menos convenientes son los árboles, porque contienen alto contenido de lignina. Las pajas y los granos de cereales producen mucho más gas que el estiércol fresco, pero su contenido de metano es menor.

La excreta humana, es una buena fuente de nutriente, produce más biogas que el estiércol fresco de vacuno y con más contenido de metano y puede usarse sólo o complementando a otros tipos de desechos. Rendimientos de estos están en la tabla 3-7.

"Los desagües municipales tienen como principal -

TABLA N° 3-6

PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE DESECHOS VARIOS

MATERIA PRIMA	BIOGAS m ³ /kg.1S	TEMPERATURA °C	TS CARGADOS	TIEMPO (dias)	METANO %	PODER CALORIFICO k cal/m ³
Tallos de cereales	0.370	---	---	---	---	---
Tallos de cereales	--	28-30	---	30	55-59	---
Paja de Trigo	0.432	20°C	7-9	---	59	---
Hojas de caña de azúcar	0.50	---	---	14	---	---
Hojas de árboles	0.210-294	20°C	7-9	--	58	---
Mala hierba	0.630	20°C	7-9	--	70	--
Algas	0.32	45-50	---	11-20	--	--
Algas	0.220	TERMOFILICA	-----	---	65	--

Tomado de (15)

TABLA 3-7
 PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE DESECHOS
 ANIMALES

MATERIA PRIMA	BIOGAS m ³ /kg de ts.	TEMPERATURA °C	TS CARGADOS %	TIEMPO (días)	METANO %	PODER CALORIFICO k cal/m ³
Estiércol Vacunos	0.58-0.67	21-29	5	--	60-65	----
Estiércol vacunos	0.181	15	7-9	30	60	4767 2862(*)
Estiércol vacunos	0.236	ambiente	6	49	60-65	
Estiércol vacunos	0.310	21 - 24	7-9	45	60	4767 2862(*)
Estiércol de puercos	0.650	ambiente	---	--	--	2962(*)
Estiércol de puercos	0.400	15	7-9	--	60	4767
Estiércol de aves	0.930	35	11	19	70	----
Estiércol de aves	0.640	29	11	19	70	----
Estiércol de aves de corral	0.560	50.6	---	9	69	----
Estiércol para aves	0.380	ambiente	---	----	----	2841(*)
Estiércol de oveja	0.37-0.61	---	--	20	64	----

(*) Poder calorífico por eficiencia de combustión

componente las heces humanas. El tratamiento de estos requieren grandes plantas de biogas mecanizadas. De acuerdo con Ken Smith se podría producir $.025 \text{ m}^3$ de biogas por cápita al dia con 60 % de metano". (15)

La basura, fuente de abundante desecho orgánico es poco usado para producir biogas; sin embargo recién ultimamente se viene desarrollando su utilización en este sentido. Usar la basura requiere separar los materiales inorgánicos (vidrios, metales, etc.) y madera; la digestión puede tener $.31 \text{ m}^3$ de biogas por kg. de basura .(15)

Es interesante un artículo ecuatoriano escrito acerca del aprovechamiento energético de los rellenos sanitarios. En ella se dice lo siguiente:

Se evalúa el potencial energético del relleno sanitario estableciéndose que para el caso específico del botadero municipal de la ciudad de Guayaquil (Aprox. un millón de habitantes) es del orden de 90000 barriles equivalentes de petróleo por año. (3)

Se han realizado experimentos con desechos industriales orientados a la producción industrial de biogas, principalmente con desecho de fábricas de azúcar y de destilería de vino y de la industria de papel; motivados generalmente por el control legal que se opone al vertimiento de efluente contaminados.

El valor del biogas es directamente proporcional a la cantidad de metano que contiene (mientras más metano hay mejor combustible es el biogas). Los otros componentes del biogas no son combustibles o su poder energético es tan bajo que no es digno de ser tomado en cuenta.

El metano puro tiene un poder calorífico de aproximadamente 1000 BTU por pie cúbico. Si se tiene un biogas que tiene en volumen 60 % de metano, se tiene un valor calorífico de 600 BTU/pie³. La tabla 3-8 enseña el poder calorífico del biogas y de otros gases combustibles.

La composición y poder calorífico del biogas de algunas clases de materia orgánica, depende entre

GAS COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO	
	(BTU/p ³)	(k cal./m ³)
Gas de la ciudad	450 - 500	3850 - 4275
Biogas	540 - 700	4650 - 6000
Metano	1020	9120
Gas natural (basado en metano y pro <u>p</u> ano).	1050 - 2200	9000 - 19000
Propano	2200 - 2600	19000- 22500
Butano	2900 - 3400	25000- 29000
Acetileno	1500 - 1000	12800 - 13700

TABLA N° 3-8

PODER CALORIFICO DEL BIOGAS Y OTROS GASES

Tomado de (8).

otras cosas de lo siguiente:

- a. La temperatura en que toma lugar. Esto ha sido anteriormente nombrado.
- b. La naturaleza del material orgánico utilizado (de acuerdo a Ram Bux Singh; libra por libra, residuos vegetales en algunos casos especiales dan 7 veces más gas que los desechos de animales.

Cón una buena temperatura y adecuado sustrato, 50 a 70 % del sustrato alimentado en el digestor será convertido en biogas. (18)

La cantidad de gas producido de diferentes sustratos es extremadamente variable. La siguiente combinación de desechos de experimento de laboratorio pueden ser considerados como mínimos valores y se encuentran en listados en la tabla 3-9.

Sin embargo, la producción de Biogas, a partir - del ganado vacuno, para cierto tipo de digestores después de innumerables investigaciones. ha

sido estabilizada. La tabla 3-9 presenta el cálculo de dos beneficios de la digestión anaeróbica a partir de excremento vacuno.

TABLA 3-9
CALCULO DE LOS BENEFICIOS DE LA DIGESTION ANAEROBICA A PARTIR DE EXCREMENTO VACUNO.

Volumen cámara digestor	10 m ³
Tiempo residencia	40 días
Carga diaria de estiércol	12.5 kg/día
Kg S.T.(seco)	2.5 Kg/día
Tiempo operación	300 días
Masa total de abono seco	7500Kg/año
Producción diaria de gas	4 m ³ /día
Producción total por año	1200 m ³ /año

La tabla 3 - 10, presenta producción típica de digestores comunes.

TABLA 3-10

PRODUCCION TIPICA DE DIGESTORES COMUNES DE ESTIER
COL VACUNO

Tamaño cámara (m ³)	6	15	25	75
Producción gas anual:				
m ³	720	1800	3000	9000
Millones KJ	14.7	36.75	61.26	183.8
Producción abono anual				
(Kg).....	4500	11250	18750	56250

3.4. OTROS PARAMETROS

Sin dejar de ser interesantes, los parámetros tienen - que ver mucho con la bioquímica, lo que sale fuera de la orientación del estudio. Entre otros son los siguientes:

Materiales tóxicos, crecimiento bacteriano, nivel de nutrientes, demanda de oxígeno biológico, demanda de oxígeno químico, etc.

3.4.1. Materiales Tóxicos

Son dañinos para cualquier individuo viviente: hay tóxicas que impiden el crecimiento o matan a las bacterias orgánicas. El más común de éstos es el amoníaco, NH_3 . El nivel tóxico máximo de NH_3 es de 2 gr. por cada litro de sustrato o 2.670 onzas/galón. Las orinas son fuente de amoníaco.

La urea otra sustancia común en la orina es también tóxica para las bacterias. Sin embargo, con suficiente CO_2 , y en la presencia de suficiente contenido de carbono en el material, la urea puede ser convertida en bicarbonato de amonio, un compuesto químico alcalino.



Los metales pesados que son a menudo consecuencia de la contaminación ambiental por las industrias, destruye las bacterias anaérobicas. El Cr., Cu., Ni., Zn., y Hg pertenecen a la lista

de metales pesados.

Se recomienda usar tubos plásticos para las tuberías en el interior de los digestores.

Los detergentes sintéticos tales como jabones, detergentes, shampoo, limpiadores de servicios - higiénicos, soda caústica, etc.

Pesticidas, herbicidas y antibióticos (de tratamiento veterinario) están incluidos entre los materiales tóxicos.

3.4.2. Crecimiento bacteriano

El estudio del crecimiento y desarrollo microbiano comprende algunas ciencias y a pesar de ser un fenómeno natural, su descripción en términos cualitativos y cuantitativos es compleja. Para tener crecimiento microbiano es necesario tener varios requisitos, tanto de tipo biológico como físico - químico. Primeramente es imprescindible tener un cultivo en condiciones adecuadas.

"En un cultivo microbiano todas las partes están sujetas a las mismas condiciones de temperatura, pH, concentración de nutrientes, etc. Las diferentes fases que ocurren en un cultivo en las condiciones anteriores se pueden ver en la figu. 3-10, estas fases reflejan cambios en la biomasa y en el medio ambiente.

Después de un período de retardo, el crecimiento ocurre a la máxima rapidez y finalmente cesa ya sea por falta de nutriente o por el acumulamiento de un producto inhibitorio o algún cambio en el ambiente físico + químico.

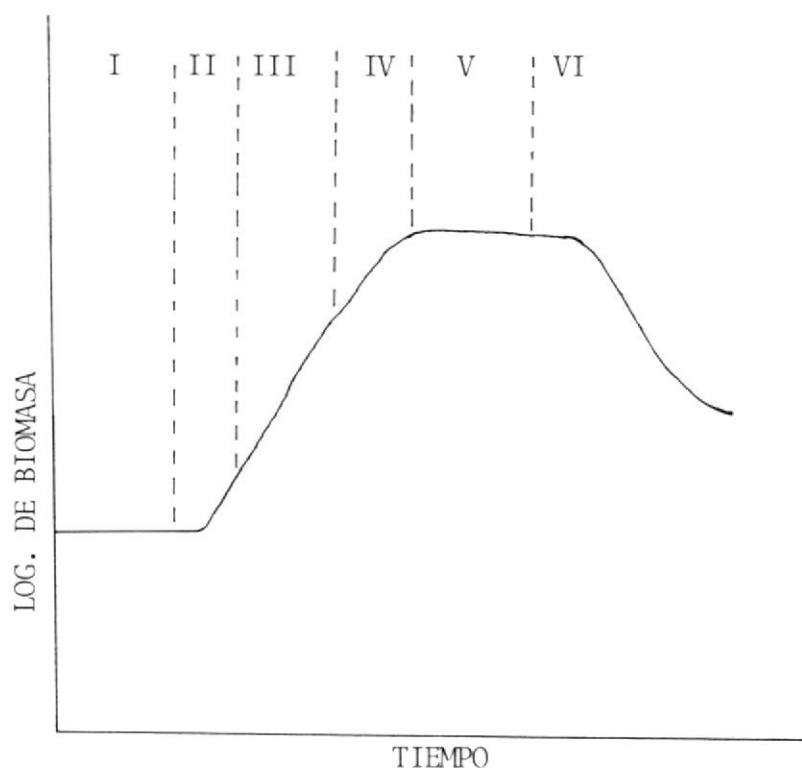
Después de que la biomasa alcanza el máximo, generalmente existe una fase estacionaria donde la cantidad de biomasa permanece constante, en la última etapa por el metabolismo de mantenimiento o por autólisis la biomasa disminuye:. (15)

3.4.2.1, Ecuación de Monod:

Cuando el crecimiento de un cultivo en lote está limitado solamente por la can

FIGURA 3- 10

CURVA DE CRECIMIENTO EN LOTES DE SEIS FASES



- I Retardo
- II Aceleración del crecimiento
- III Crecimiento Exponencial
- IV Desaceleración
- V Estacionario
- VI Declinación

Tomado del manual de biogas primer curso latinoamericano, pag.37
OLADE, mayo de 1981.

tividad inicial de sustrato. entonces la curva de crecimiento puede ser expresada en términos de los parámetros de crecimiento. La bien conocida curva de Monod describe la relación entre la tasa específica de crecimiento, μ , y la concentración del nutriente limitante, S , en un cultivo microbiano.

Para el modelo Monod se tiene:

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \quad (2)$$

$$x - x_0 = y(S_0 - S) \quad (3)$$

Donde x_0 y S_0 son los valores masa crítica de la biomasa y el sustrato limitante, respectivamente, sustituyendo μ y S en la ecuación (1) se obtiene:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_m (YK_g + X_o - X)}{K_s Y + S_o Y + X_o - X} \quad (4)$$

La ecuación (2) se representa en la figura 3-11, en donde μ se gráfica como en función de la concentración del sustrato. El valor K_s se obtiene cuando $\mu = .5$ es máx. En general la relación de monod - se sigue aunque hay desviaciones a tasa de crecimiento alto.

3.4.3. Nivel de Nutrientes

Se mencionó que en un medio de cultivo debe de tener todos los elementos necesarios para el crecimiento bacteriano, pero también se ha encontrado que la relación de ciertos elementos es de especial importancia.

El oxígeno merece especial mención pues su ausencia o abundancia permite una selección tanto de microorganismo como el producto de su metabolismo. En la fermentación anaeróbica la mayor parte del carbono se emplea como energía y sólo el 2 % se

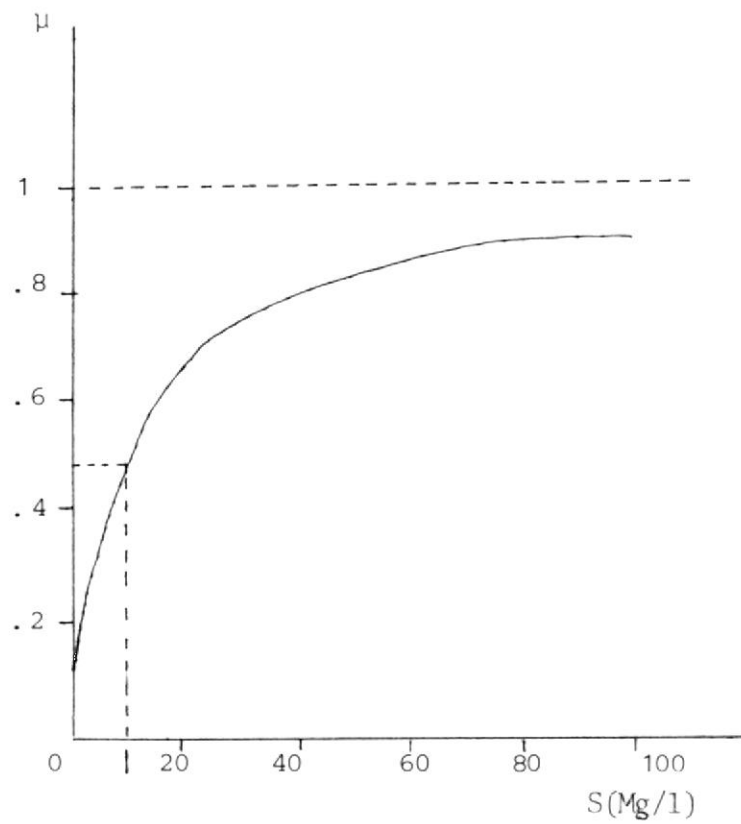


FIGURA 3-11

ECUACION DE MONOD. ECUACION (2), DONDE $\mu_m = 1.0 \text{ Hr}^{-1}$

Y $K_s = 10 \text{ mg/lt.}$

Tomado de (15)

asimila como material celular. La literatura, especializada presenta una idea general del carbono asimilado y desasimilado como fuente de energía.

Es posible con el conocimiento actual iniciar una fermentación y poco a poco a través de la experimentación, proceder a mejorarla y dirigir el crecimiento y el metabolismo microbiano en el sentido que se desee, aumentando rendimiento, disminuyendo consumo de nutrientes o haciendo excreción selectiva de productos.

3.4.4. Demanda de Oxígeno Biológico (BOD)

Una medida indirecta de la concentración de la materia degradable biológicamente presente en los residuos orgánicos es la cantidad de oxígeno usado por la bacteria aeróbica cuando sucede la degradación de la materia orgánica en la presencia de aire a una temperatura constante (20°C) para un tiempo específico (5 días).

Expresado en mg. de oxígeno usado por litro de

líquido de sustrato (mg/Lt.) o en partes por millón (P.P.M.).

3.4.5. Demanda de Oxígeno Químico (C.O.D.)

Una medida indirecta de la cantidad de oxígeno requerida para degradar la materia orgánica en agua. Es una medida de tanto la porción biodegradable como la porción que solamente puede ser oxidada químicamente. Es determinada por la cantidad de dicromato de Potasio consumida en una mezcla hirviendo de cromo y ácido sulfúrico. El COD será siempre mayor que el BOD.

3.5. DESCRIPCION DEL DIGESTOR EXPERIMENTAL

Anteriormente se describieron los parámetros que intervienen en la digestión anaeróbica, ahora se hará con el equipo experimental que es en realidad una batería de minidigestores compuesta de seis minidigestores independientes. Pertenece al tipo tanda, construída con ladrillo y cemento localizada en los predios de la ESPOL.

La figura 3-12 presenta el diseño original que se cambió después de ser construido. Esta figura presenta la alimen
tación por la parte superior que es metálica. En el es
quema presentado sólo se tiene un digestor cargado y co
nectado al gasómetro. En las fotos que se verán posterior
mente indican que la salida fue cambiada en las paredes
frontales.

La figura 3 - 13, presenta un esquema simple con las -
principales medidas de la batería de minidigestores.

Debido a que existió problemas con la salida del efluente
te, se procedió a cambiarla, reduciendo su diámetro de
10 cm. a 1.25 cm. y colocando una válvula de compuerta;
están ubicadas en la parte inferior. Las figuras 3-14
y 3-15, presenta una vista frontal y lateral respecti
vamente de la batería de minidigestores totalmente car
gados. En la figura 3-15 se observa 3 recipientes ci
líndricos que descansan sobre otros llenos de agua, que
flotan cuando se llenan con gas y permite medir su pro
ducción. Estos son los minigasómetros que están conec
tados a cada minidigestor por mangueras blancas. Tie
nen dos bifurcaciones, una para medir la presión (al -
manómetro) y la otra para toma de muestra.

FIGURA 3-12
 PLANTA BIOGAS PARA RESIDUOS AGRICOLAS

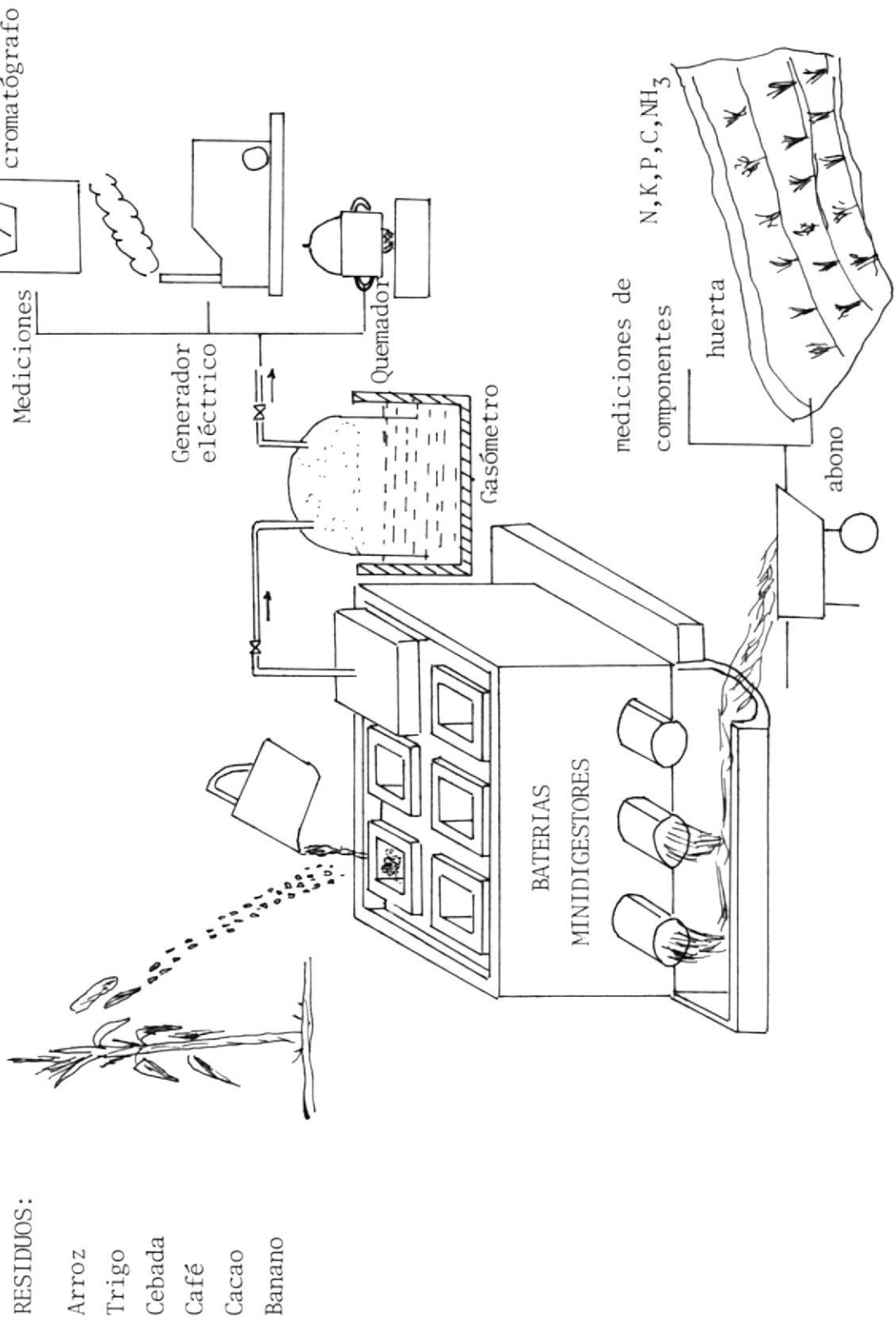


FIGURA 3-13

PRINCIPALES MEDIDAS DE LA BATERIA DE MINIDIGESTORES

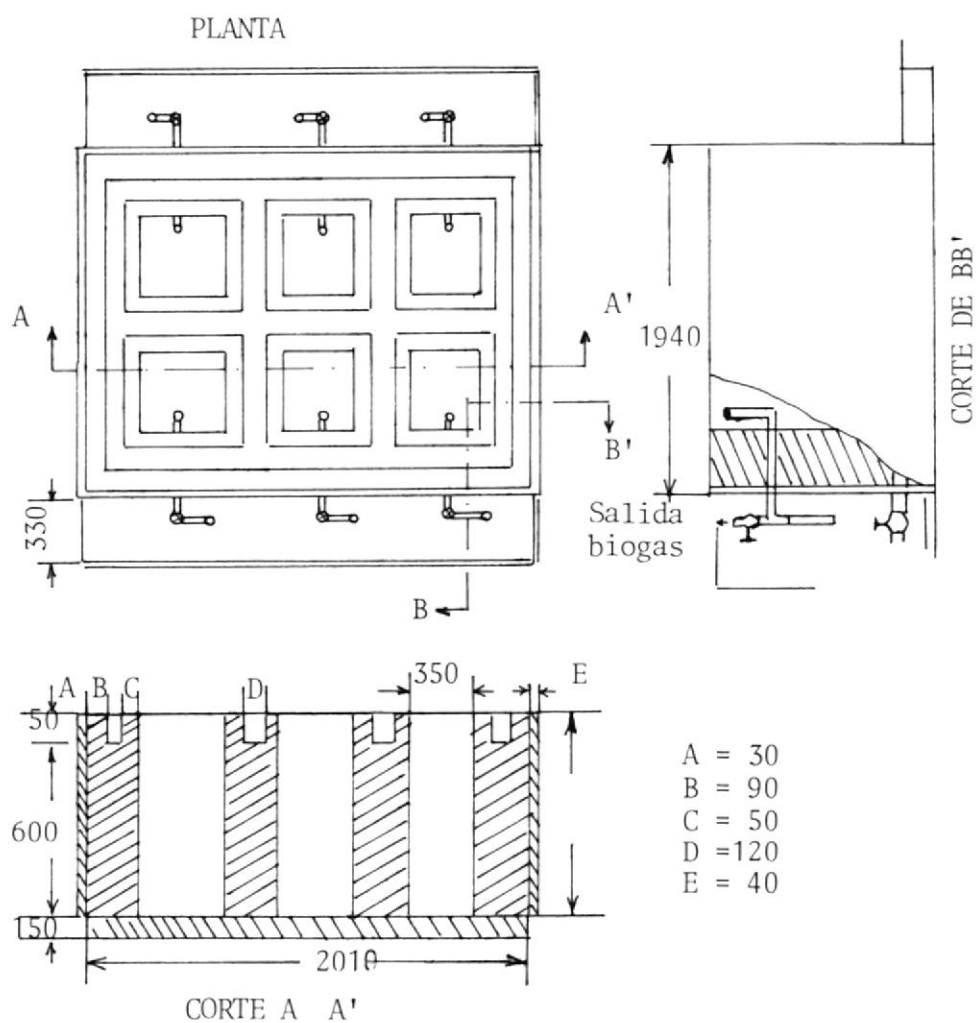


FIGURA 3-14

VISTA FRONTAL DE BATERIA MINIDIGESTORES



FIGURA 3-15

VISTA LATERAL DE BATERIA MINIDIGESTORES



FIGURA 3-16: VISTA INTERNA DE UN MINIDIGESTOR

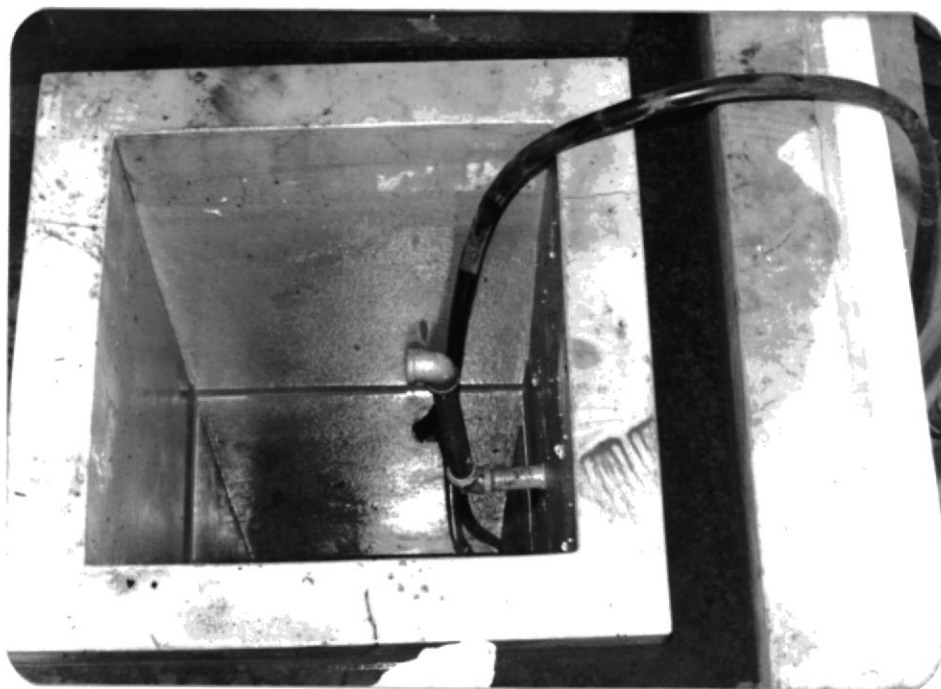
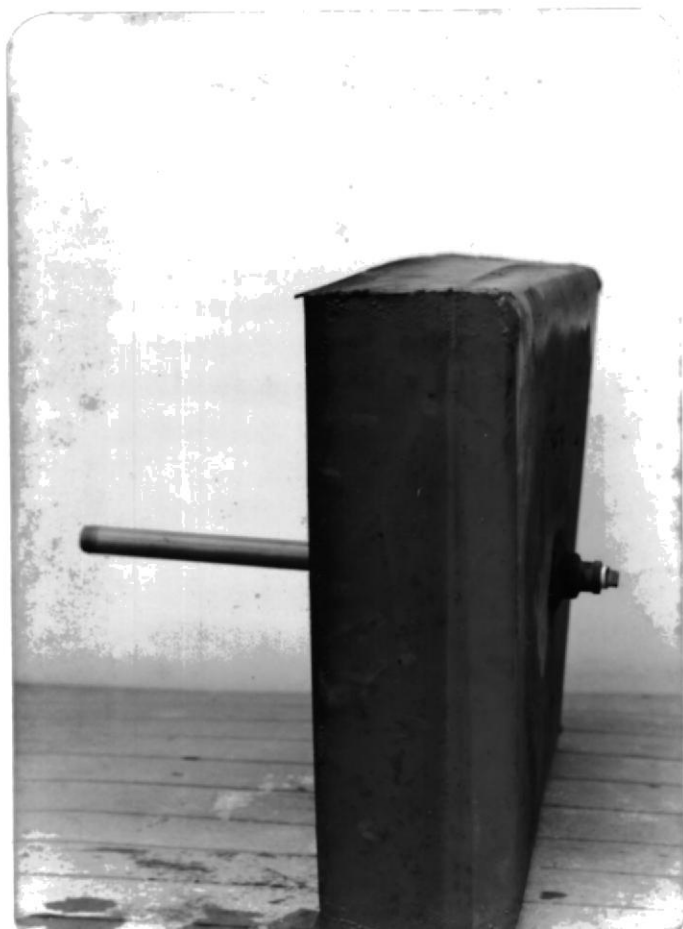


FIGURA 3-17: TAPA METALICA



En la figura 3-16, se observa que existe un minidigestor que no tiene tapa metálica, las piedras y planchas de cemento en la parte superior son para impedir que la presión del gas haga levantar la tapa y escape el gas por la parte superior antes que llenar los minidigestores.

La figura 3-17, muestra detalles interiores de un minidigestor, se aprecia la tubería de succión de gas; en la parte superior externa el sello de agua de 15cm. de altura, el agua presenta un color café anormal por que tiene diesel para evitar que sea criadero de insectos y algas.

La figura 3 - 17 presenta una tapa metálica que cubre la entrada de carga e impide la fuga de gases producidos. Se aprecia un tubo de plástico que conecta el exterior con la mitad del minidigestor, permite cuando se encuentre cargado, mediciones de pH y temperatura interna del digestor. Por la parte externa las paredes laterales y frontales están recubiertas por 4 cms., de espumaflón para evitar cambios bruscos de temperatura.

3.5.1. Sumario de especificaciones de la batería de -

Minidigestores

Número de minidigestores:	seis
Volumen por cada minid.::	62 dm ³
Dimensiones de batería Minid.:	2.1x1.9x0.75 mts.
Dimensiones de cada minidig.:	0.35x0.35x0.75 mt.
Sustrato:	Residuos Vegetales
Tiempo de residencia:	90 días
Producción esperada:	25 lt/día.
Temp.promedio ambiental:	24°C
Temperatura baja:	19°C
Temperatura promedio alta:	32°C
Capac.de minigasómetro:	25 lt.

CAPITULO IV

PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las pruebas definitivas se realizan en la batería de minidigestores tipo tanda, construido para este caso en la ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Sin embargo, aunque el potencial energético de residuos vegetales en el país es enorme, tanto en variedad como en cantidad, se experimentó con parte de los residuos agrícolas dejando así un vasto campo de investigación apenas empezado.

En el mes de junio de 1.981, se realizaron pruebas iniciales en minidigestores de plástico tipo tanda la figura 4-1, muestra los digestores en plástico.

4.1. CARGA DEL DIGESTOR

Realmente se utilizaron digestores pequeños, llamados minidigestores; para la carga de los minidigestores de plástico se utilizó seis clases de productos:

FIGURA 4-1
MINIDIGESTORES DE PLASTICO



Hojas de choclos, residuos de café, cáscara de arvejas (cáscara de *nisum sabivum*,1), cáscaras de habas se rranas (cáscara de *vicia faba*,1) y tamo o cáscarilla - de arroz (*oriza sativa*,1).

La alimentación se lo hacía a través de un pequeño orifi cio y al final se añadía agua dejando una pequeña cáma ra para acumulación de gas, la que fácilmente se defo rma cuando la presión manométrica sobrepasaba los 5 cms., de agua; la salida de los gases era por la parte superior lateral.

4.1.1. Carga de batería de minidigestores

Después de fracasar las pruebas en los minidigesto res de plástico, se construyó la batería de - minidigestores.

Llegaron seis minidigestores en fechas diferentes y con porcentajes de humedad diferentes cuando se trataba del mismo material.

El primer minidigestor que se cargó contenía hierba cortada (césped) no se obtuvo resultados debido

a que se descargó por falla en el equipo. Posteriormente se llenó otro con excremento de ganado vacuno para comparar efectos (hasta entonces no se sabía si el equipo funcionaba). Después se siguió llenando con tamo de arroz, cisco de café, cáscara de habas serranas y arvejas y la última con cáscara de habas serranas (vicia faba).

Se estableció la siguiente metodología, a excepción de la cáscara de haba serrana y arvejas - que no se utilizó estiércol de ganado vacuno para el preprocesamiento, que es una fermentación aeróbica:

- a. Preprocesamiento del residuo vegetal mediante compostaje.
- b. Peso del sustrato después de realizarse a).
- c. Peso del agua previamente desclorada.
- d. Mezcla del residuo vegetal con el agua y medición del pH.

- e. Alimentación al minidigestor
- f. Introducción de lodos residuales en la parte central del minidigestor y dejar el nivel de carga 25 cms., debajo del tope superior.
- g. Sacar el aire de la cámara de almacenamiento. (espacio de 25 cms.) y postura de la tapa metálica.
- h. Esperar a que la producción se inicie.

4.2. MEDICIONES DE PARAMETROS QUE AFECTAN LA DIGESTION

Aunque éstos son muchos, se midió la producción, temperatura, presión y ph., generalmente para un tiempo de residencia de 60 días.

4.3. PRODUCCION DEL BIOGAS

Como lo indican las tablas en los capítulos anteriores principalmente en el capítulo III, éste parámetro depende a su vez de otros que no pueden ser mantenidos constante en condiciones naturales por lo que la composición y cantidad del biogas producido experimente no

es constante.

4.3.1. Composición y cantidad del gas

Para realizar las mediciones se utilizó un equipo de orsat. En este instrumento se media el contenido del dióxido de carbono (CO_2), y O_2 . Por la diferencia se ha sacado el porcentaje aproximado de metano sabiendo que generalmente entre el metano y el anhídrido carbónico ocupan el 95 % del volumen total. Se usó además un cromatógrafo de gases para comprobar las mediciones anteriores, aunque en menor escala por no disponer siempre de este servicio.

La cantidad del biogas se la midió diariamente con la ayuda de los minigasómetros que se pueden observar en la figura 3-16, del capítulo III, y que básicamente consiste en dos recipientes cilíndricos. El inferior de mayor diámetro contiene agua; el superior por donde penetra el gas que sale de los minidigestores a través de mangueras de plástico; inicialmente éste cilindro se encuentra totalmente sumergido en el re

ciente mayor y conforme se produce el biogas la campana desaloja el agua y comienza a elevarse. Un incremento en la altura del minigasómetro con respecto al nivel del agua determina un incremento en la producción.

4.3.2. Propiedades del Gas

Fue imposible por falta de equipos adecuados - comprobar todas las propiedades del gas, por lo que se asume que tiene las presentadas en la tabla 3-5; corrigiendo algunos valores se puede obtener propiedades aproximadas del biogas; típicamente el biogas presenta 60 % de metano para residuos orgánicos de animales, y en el rango de 40 - 80% en volumen para los residuos vegetales de acuerdo a OLADE.(15)

4.3.3. Transmisión, almacenaje y distribución

En este caso es muy sencilla pues pasa directamente al minigasómetro, sin necesidad de ninguna purificación como lo exigen algunos sistemas

industriales, y en usos específicos en donde se requiere pureza.

Las figuras 3-14 y 3-15, del capítulo anterior, indican detalles de transmisión, almacenajes y distribución, además se observa para cada mini-gasómetro después de la salida del gas, una trampa de condensación de agua, para al menos disminuir el contenido de humedad del biogas.

CAPITULO V

EVALUACION DE LOS RESIDUOS - AGRICOLAS

Se tratará de estudiar y analizar los resultados experimentales de los productos utilizados en la batería de digestores. Basicamente 4 resíduos agrícolas:

- Cisco de café seco (cisco de *coffea arabica*,1).
- Cascarilla de arroz (*oriza sativa*,1)
- Cáscara de arvejitas (*pisum sativum*,1)
- Cáscara de habas serranas (*vicia faba*,1).

5.1. RESULTADOS

La tabla A-1, presenta temperatura correspondiente a la temperatura ambiental de los meses de mayo, junio, julio, agosto, y algunos días de septiembre, época en que se realizaron los experimentos. También se realizó medidas de temperatura interna de la batería de di

gestores, presentadas en la tabla A-2.

Las tablas A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 y A-8, presentan datos de presión, producción total y relativa de los sustratos empleados. La tabla 5-1, resume datos de todos los minidigestores con la proporción de elementos que componen la mezcla digerida anaerobicamente, y la tabla 5-2, muestra la producción de todos los minidigestores.

Secando al sol se comprobó que las cáscaras de habas serranas y de arvejas, tienen 90 % de agua en su peso.

El ph medido con papel tornasol (medidor universal - Merck), se presentó por lo general ligeramente básico y fluctuó entre 7.0 - 7.5, pero al comienzo las habas serranas tenían 5.6, es decir acidez.

La figura N° 5-1, indica la producción relativa y total, la temperatura ambiental del minidigestor llenado con cáscara de habas serranas y arvejas (cáscara de vicia faba,1 y pisum sativun,1). Al comienzo, presentaba un contenido de metano entre 20 - 25 %.

La figura 5-2, muestra la producción y temperatura ambiental del minidigestor llenado con excremento de ganado vacuno. La fig. 5-3, indica la producción y temperatura ambiental del tamo de arroz, que es muy baja.

Los tres minidigestores anteriores estaban ubicados en la cara anterior más cercana a la caseta. En la otra cara cercana a la caseta del horno experimental se llenaron con cisco de café seco y cáscara de haba serranas (vicia faba,1).

Las figuras 5-4 y 5-5, indican la temperatura ambiental y producción del cisco de café que inicialmente se llenaron con diferente dilución. La figura 5-6, muestra la temperatura ambiental y producción de la haba serrana (vicia faba,1), que fue el último minidigestor llenado. Finalmente la figura 5-7, presenta la producción total de todos los minidigestores cargados en función del tiempo en semanas.

En el Apéndice, se presenta además un estudio específico comparativo de costo, si el proceso funcionara con estiércol vacuno.

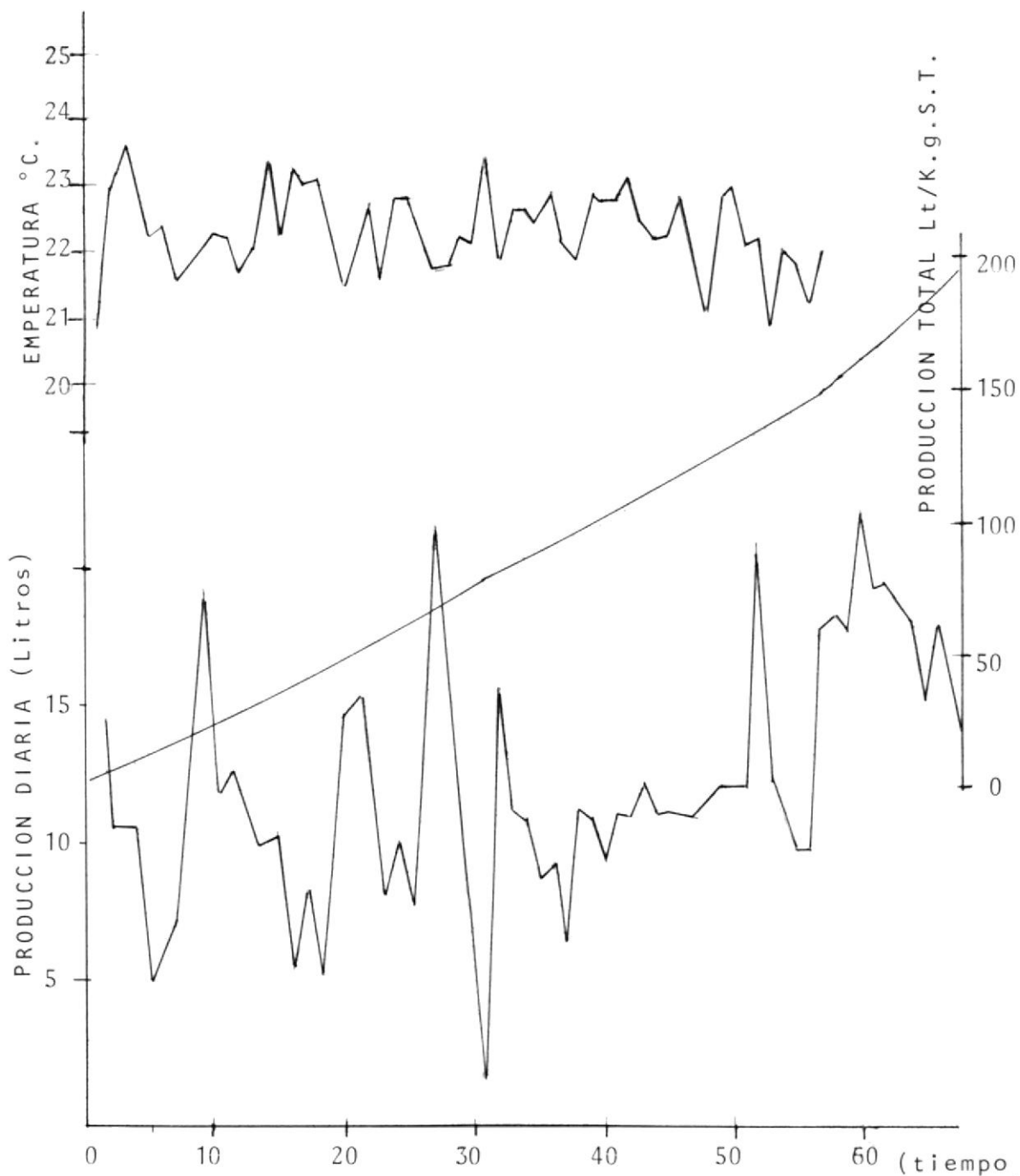


FIG. 5-1. COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA Y PRODUCCION Vs. TIEMPO DEL MINID. CON CASCARAS, HABAS SERRANAS Y ARVEJITAS.

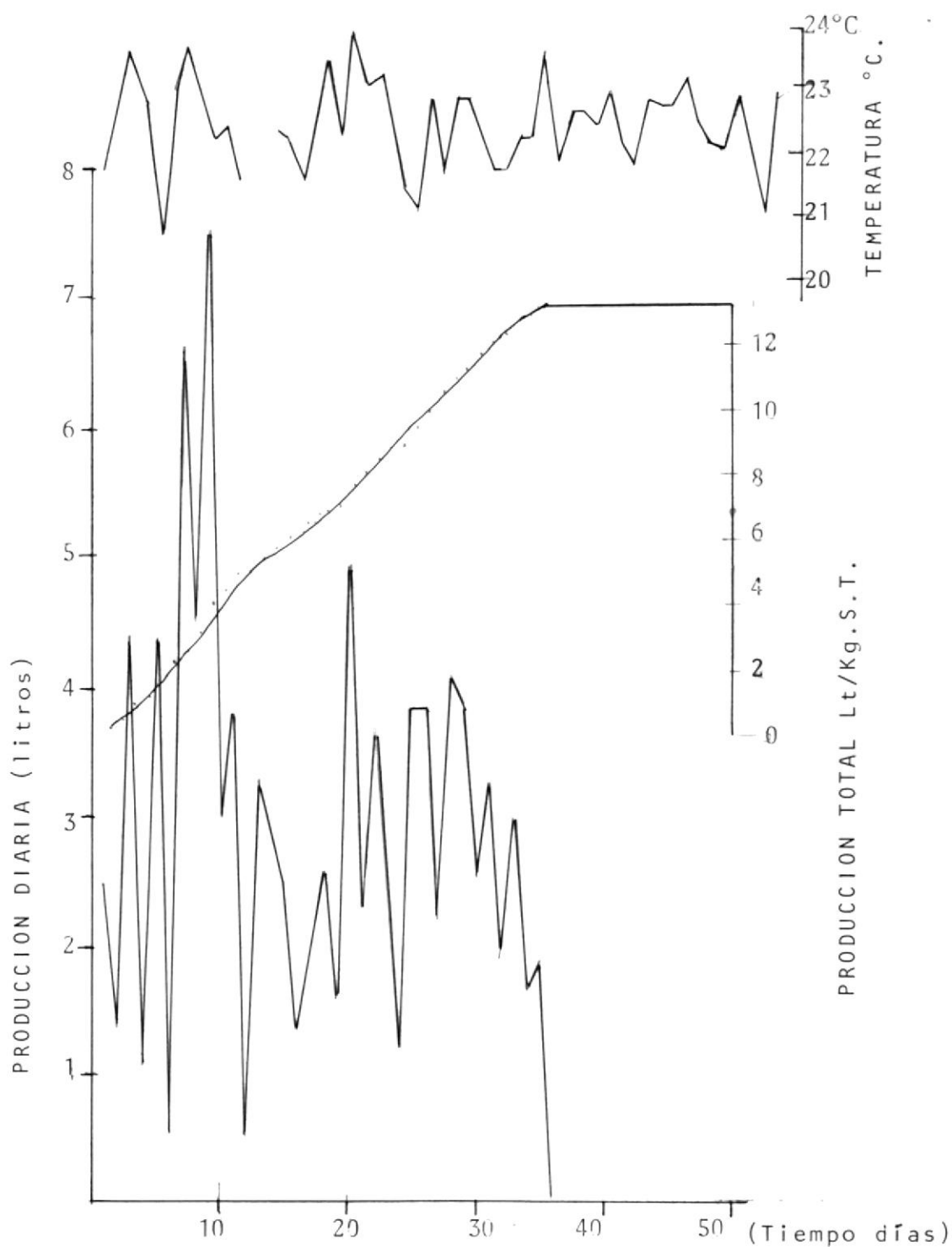


FIG.5-2. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y PRODUCCIÓN DEL MINIDIGESTOR CON ESCREMENTO GANADO-VACUNO.

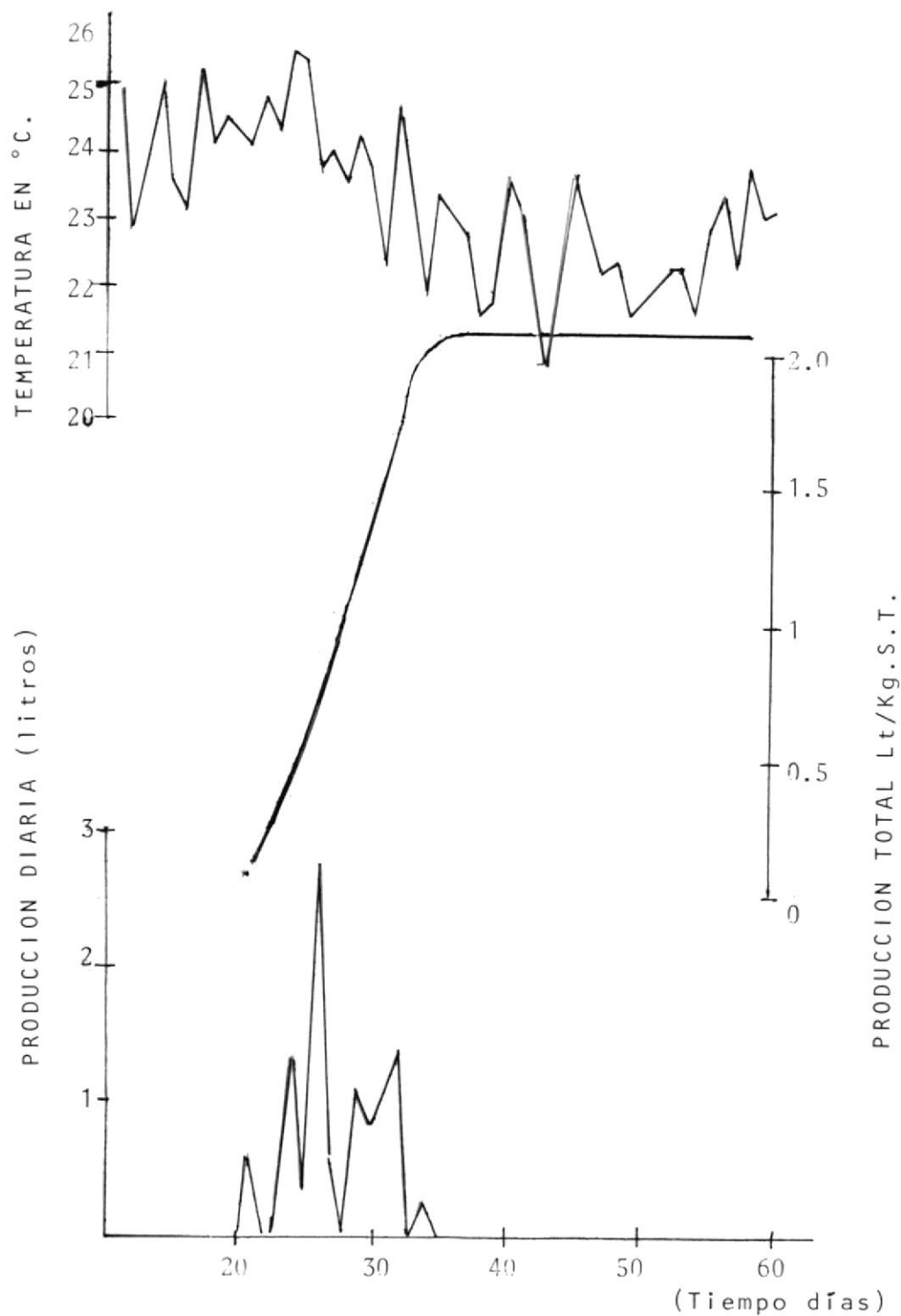


FIG. 5-3. COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCION Y TEMPERATURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO PARA EL MINIDIGESTOR CON CASCARILLA DE ARROZ.

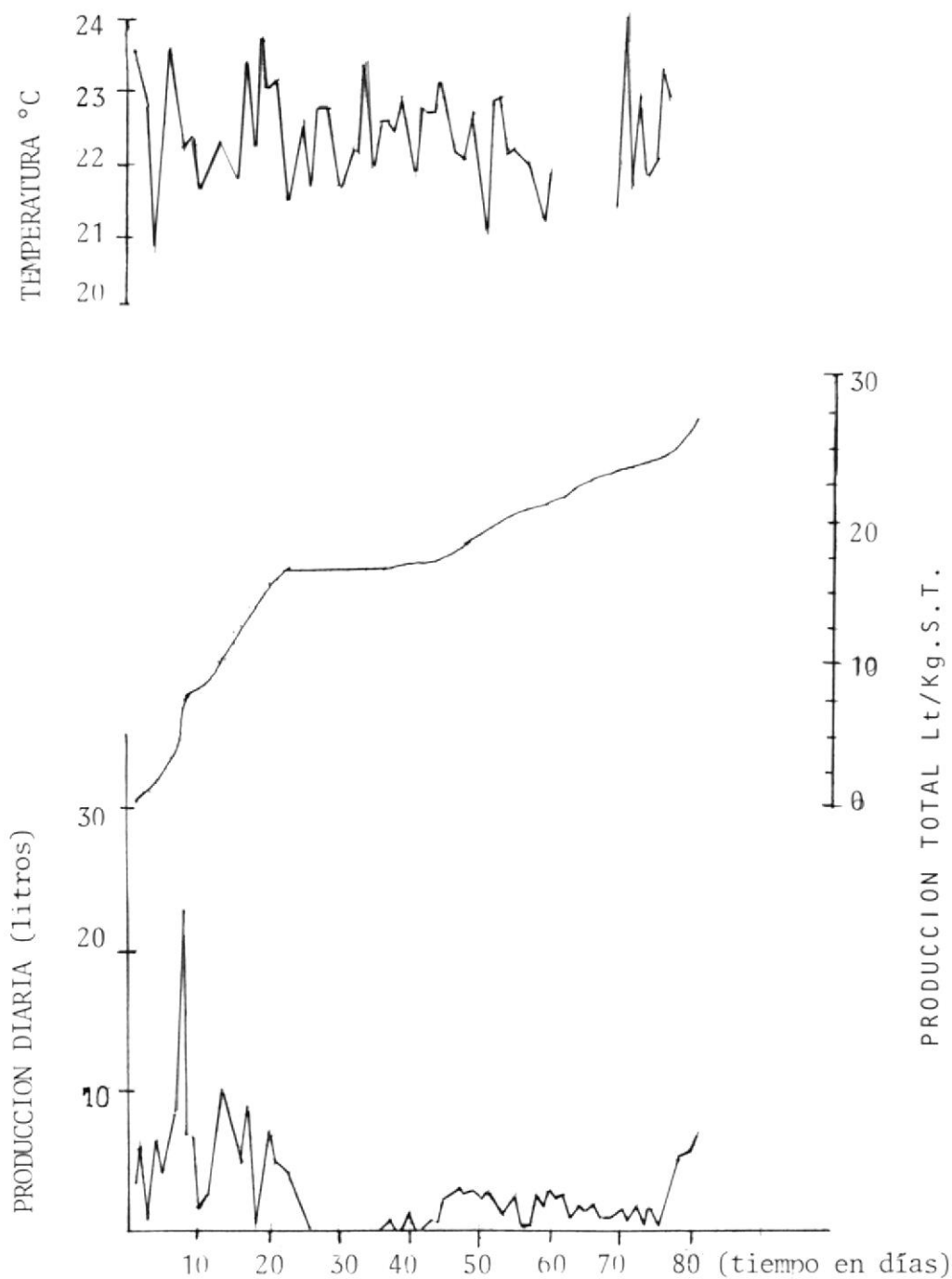


FIG. 5-4. DATOS EXPERIMENTALES DE PRODUCCION Y TEMPERATURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO DEL MINIDIGESTOR CON CISCO DE CAFE (83.5% HUMEDAD).

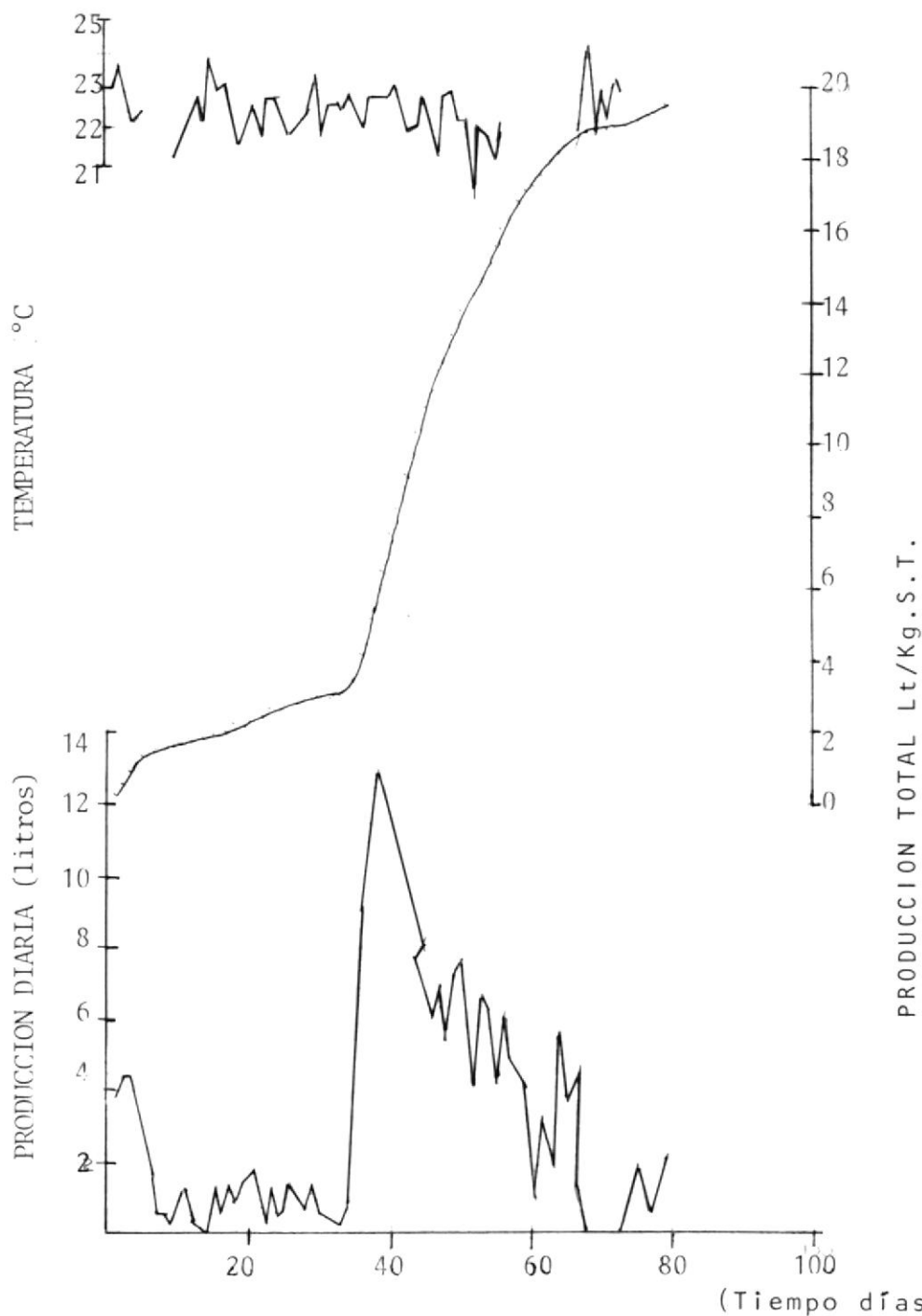


FIG.5-5. DATOS EXPERIMENTALES DE PRODUCCION Y TEMPERATURA AMBIENTAL Vs. TIEMPO DEL DIGESTOR CON CISCO DE CAFE (61 % HUMEDAD).

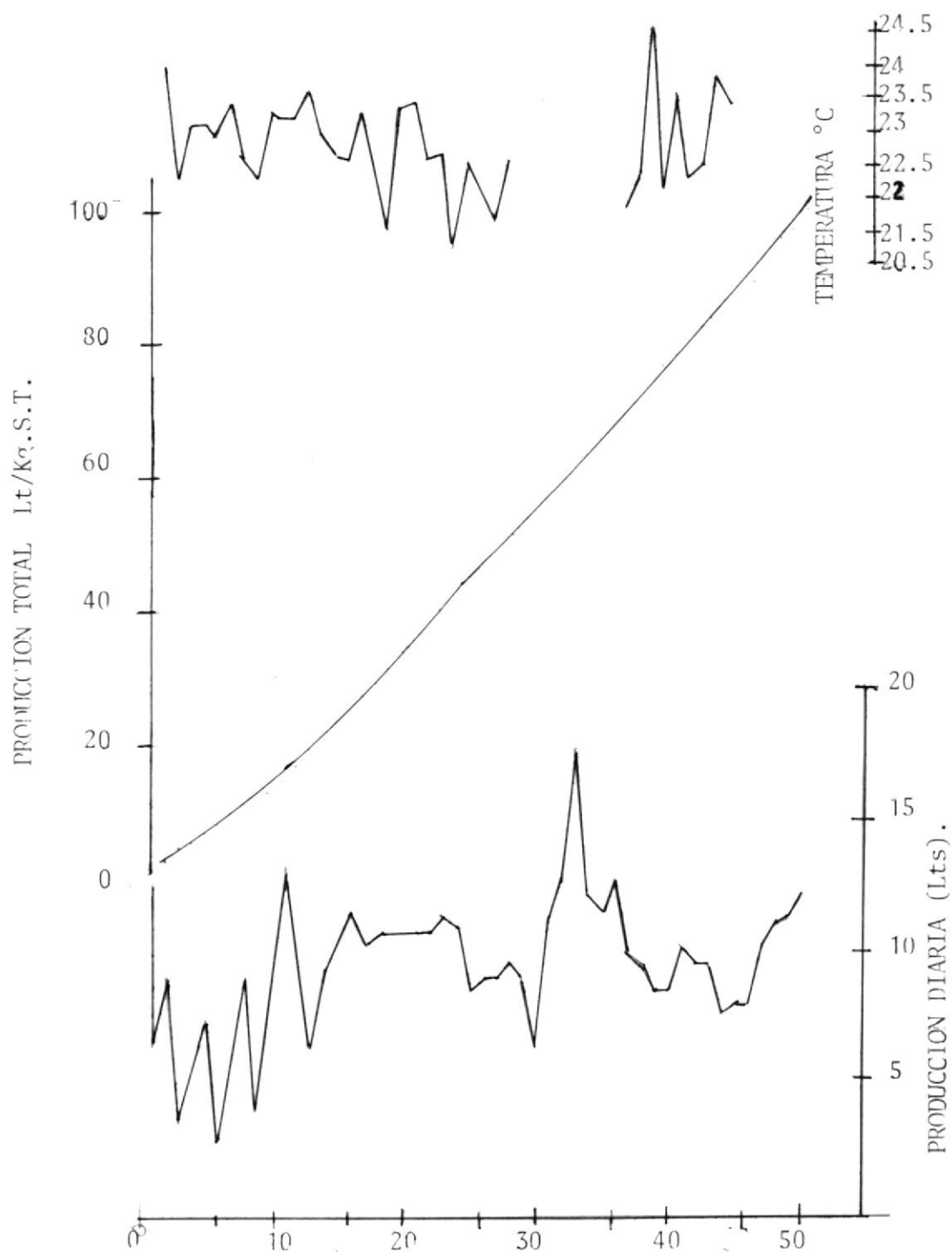


FIG.5-6. COMPORTAMIENTO DE PRODUCCION Y TEMPERATURA VS. TIEMPO PARA EL DIGESTOR CON HABAS SERRANAS.

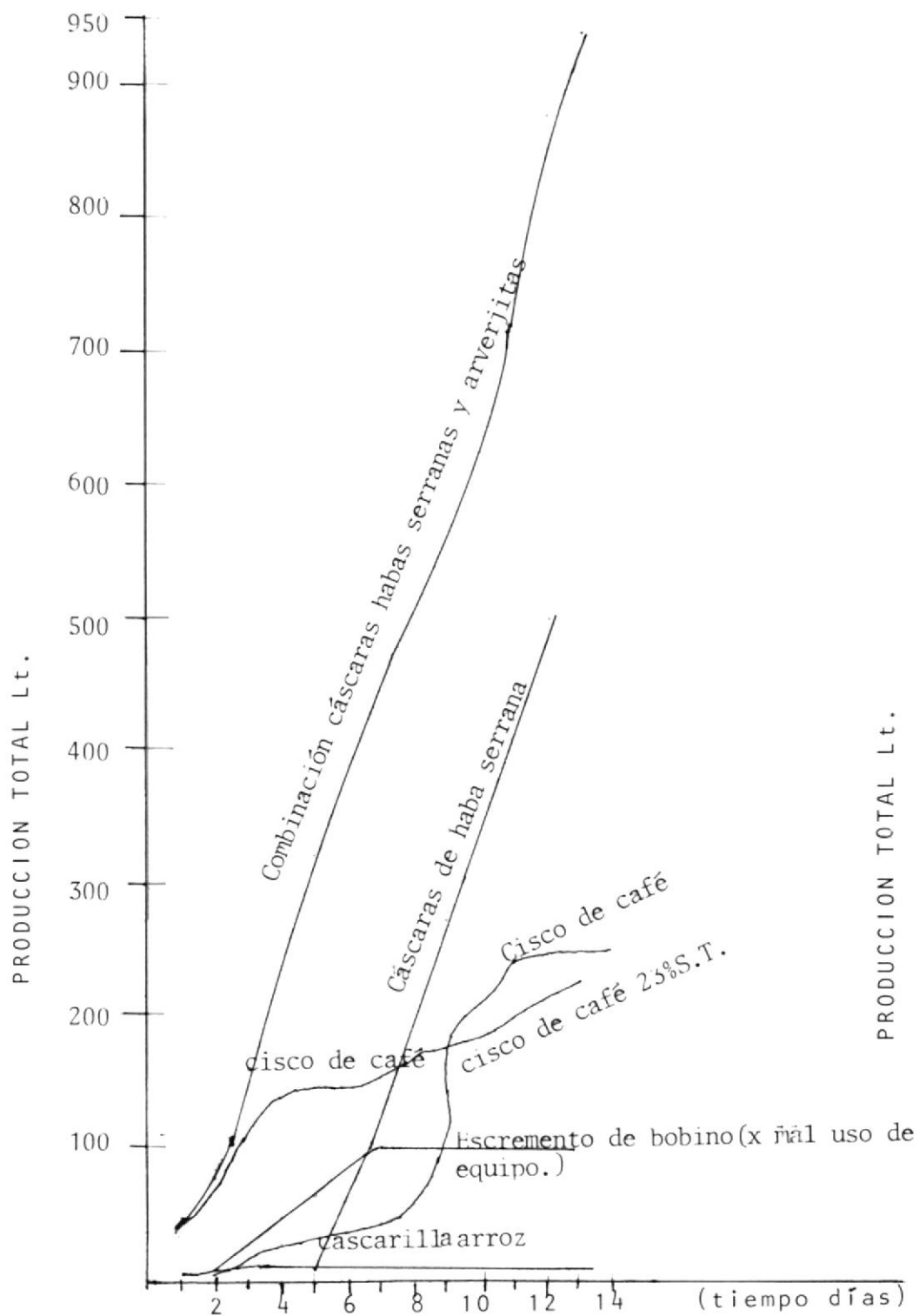


FIG.5-7. PRODUCCION TOTAL DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS UTILIZADOS EN LA BATERIA MINIDIGESTORES.

TABLA 5-1
DATOS INICIALES DE CARGA DE LOS MINIDIGESTORES

MATERIA PRIMA	FECHA CARGA	MESES RACION	OPE PESO MATERIA PRIMA	ESCRE- MENTO GANADO	COMPOS- TAGE	AGUA AÑAD. (Kg)	MASA TOTAL (Kg)	%S.T	PESO S.T. (Kg)	Presión PH Prom.cm. Agua Tornasol
Tamo o cascavilla de arroz	19.5.82	(1) Mayo Junio Julio Agosto	4.54	5.68	N0	19.1	29.3	17.8	5.22	7 5 4.41
Escremento Ganado Vacuno	24.5.82	(2) Mayo Junio Julio Agosto	39.09		N0	36.36	75.45	10.3	7.81	5 5 5
Cisco de café seco	12.6.82	Junio Julio Agosto Sept.	26.36	4.09	SI	3.29 26.36	33.74 57.49	38.8 22.3	13.2	5 5.5 5.8
Cáscaras Habas Serranas y arvejitas	20.6.82	Junio Julio Agosto Sept.	227(V.F.) 7.3(P.S) T: 30	7.5	N0	10	47.5	9.5	3.75	7 6.5 6.5
Cisco de café seco	15.6.82	(3) Junio Julio Agosto Sept.	25.45	3.4	SI	19.09	47.94	23.8	12.28	7 7.7 6 5.9
Cáscara de habas serranas	20.7.82	Julio Agosto Sept.	37.72	5.9	N0	17.04	60.66	8.2	4.9	6 5.35 5.7

(1) y (2) retardado debido a mal funcionamiento del equipo por nivel de carga muy elevado
(3) record de producción porque se utilizó escremento de ganado vacuno activado
Se hace referencia a la producción de 0.37 m³/kg S.T. que tienen algunos.

TABLA 5-2

PRODUCCION DE LA BATERIA MINIDIGESTORES COMPARADOS CON OTROS RESIDUOS AGRICOLAS

TIEMPO INICIO PROD. DIA.	PRODUCCION PROMEDIO BIOGAS DEL MES Lt/dia	PRODUCCION TOTAL BIO-GAS DEL MES Litros.	%METANO VOLUMEN	PRODUCCION TOTAL m ³ /kg. S.T.(dias).	PRODUCCION TOTAL Lt/kg. mezcla	PORCENTAJE * MENOR CON OTROS RESIDUOS AGRICOLAS.
21	0 0.35 0 0	0 10.86 0 0	65 65	0.002	0.37	99.45
24	0 1.5 1.81 0	0 46.74 56.05	60	0.0130	1.36	96.48
9	1.92 2.45 4.82	23.1 76.06 199.45	73 60 64	0.0193	4.46	94.78
3	11.44 11.15 14.73	91.52 345.94 444.57	35 45 45	0.22(78)	20.93	40.54
2	7.48 1.68 1.9 1.88	88.16 61.24 58.33 58.23	62	0.0186	4.88	94.97
7	7.88 10.46	70.93 325.02	35 40(1-8-82) 45	0.10(50)	8.11	72.97

*Residuos orgánicos con arroz, maíz, cebada, trigo, etc. con producción de 0.37 m³/S.T.

5.2. ANALISIS DE RESULTADOS

La tabla A-1, que muestra la temperatura ambiental, in dica que cuando se realizó las experimentaciones, se estaba en verano, la temperatura fluctuaba desde 19-31 °C, con un promedio de 22-23°C cada día. Aunque se ha podido comprobar que a fines del mes de octubre la tem peratura máxima subió hasta 37°C; la temperatura máxi ma ambiental ni la mínima por las noches pudieron cam biar, temperatura interna de 27°C. Por las noches se presentó hasta un gradiente de hasta 9°, en perjuicio de la eficiencia del digestor.

El digestor de la Moya (19) tenía el mismo problema, es decir por la noche la temperatura externa variaba dema sí ado lo que repercutió en que la producción bajará - hasta el 60 % de lo esperado.

Se notó además que conforme se acerca la noche las tem peraturas se igualan, hasta que la interna es mayor, - por lo general en la madrugada. La tónica general era que durante el día gradiente se producía por que la ex terna es mayor, y por las noches en cambio la interna era la superior. Pero si comparamos la temperatura -

promedio del día con la constante del digestor se te nía que la temperatura interna es prácticamente la misma que la externa. Revisando la tabla A-1, se no ta que en la madrugada se registraba la temperatura más baja, pero que éstas no fluctuaban sino que una vez alcanzadas permanecían constante, por lo menos 5 horas. Por el contrario era que el día después de las 11h00 cuando la temperatura comienza a variar has ta las 16h00, es en este último rango que se alcanzan las temperaturas ambientales más altas.

Los registros diarios de producción indican que todos variaban en cantidad y calidad. La figura 5-1 indica que el minidigestor con la combinación de cáscaras de habas serranas y arvejas (vicia faba, 1,75% en peso y pisum sativum, 1) , - llegó a producir hasta 23 lts. por día para un peso total de 47.5 kg., en donde exis tió 3.75 kg. de sólidos totales (s.T), que da aproximadamente un 9.5 % de S.T., con una producción total de $0.22\text{m}^3/\text{Kg. S.T.}$, para un tiempo de residencia de 78 días. Se puede observar también que siete días pa san la cifra de 20 lts. por día. De todos los mini di gi sto re s no produjo el récord de producción diario pe

ro su producción promedio diaria y global fue superior a todas las otras.

En la figura 5-6, se observa que las habas serranas obtuvieron una producción de hasta 17.3 lt. por día, para un peso total de 60.68 Kg., con 4.9 Kg., de sólidos totales(S.T.), que dá 8.2 % S.T. y una producción total de $.10 \text{ m}^3/\text{Kg. S.T.}$ por 50 días. En este caso se nota que el tiempo de producción contabilizado es menor que el del minidigestor anterior, pero esto no significa que después de estos días ya no produce. Generalmente la figura 5-6, muestra que las producciones diarias fueron menores que para el primer digestor analizado, y en esos momentos en que producían simultáneamente, el minidigestor con cáscara combinadas presentó mejores valores de producción.

Para el minidigestor con cisco de café seco, residuo que resulta de pilar el café secado al sol con pulpa, la figura 5-3, registra el récord de producción diaria con 23.65 lt., por día, para un peso total de 47.95 Kg. Si el café tiene una humedad de 20 % en peso, se encontró con 12.28 Kg., de S.T., lo que dá 23 % de S.T.; para este caso debido a que el material presentaba abun-

dante lignina, se hizo preprocesamiento con escremento de ganado vacuno por 31 días. La producción total fue de $0.0186 \text{ m}^3/\text{Kg. S.T.}$ Antes se había llenado otro minidigestor con cisco de café (diferencia de tres días), con un preprocesamiento de 28 días, pero esta vez se utilizó una dilución menor, pues inicialmente se cargó con 38.8 % de sólidos totales, es decir tiene casi 15 % más de sólidos totales que el otro minidigestor del mismo material, pero en vista que dejó de producir se destapó y se agregó más agua, de tal manera que la humedad llegó a 72.8%, muy cercano al otro digestor con el mismo material. La producción total fue de $0.0913 \text{ m}^3/\text{Kg.S.T.}$, muy similar al anterior; la máxima producción diaria fue de 13.17 lt. por día. En los últimos días de vigilancia de producción porque subió demasiado el nivel de carga y obstruyó la salida. Se comprobó que esta es la causa principal porque el excremento de ganado vacuno no haya presentado un tiempo de inicio de producción adecuado, y que haga que no funcione como materia prima cuando en el mundo entero es uno de los materiales que más se utiliza para generar biogas.

Por lo general diferentes libros entre ellos OLADE -

(15) indican que la producción del estiércol del ganado vacuno en el rango de 21-24 C, con un 7-9 %S.T. por espacio de 45 días ha producido $.31 \text{ m}^3/\text{Kg. S.T.}$ con 60 % de metano. La figura 5-2 dice que produjo $0.013 \text{ m}^3/\text{kgS.T.}$, de los cuales los primeros días no se acumuló biogas por las causas anteriormente anotada. Con una temperatura ambiental promedio de 22.5°C. , una temperatura interna de 27°C. , y con 7.81% de S.T. El dato de referencia de OLADE comprueba que el minidigestor tando no fue enteramente operado en forma adecuada, y que es posible mejorar la productividad con mejora al sistema, y metodología de operación. La producción registrada tiene casi 40 veces menos que la registrada en la bibliografía.

El tamo o cascarilla de arroz está representado en la figura 5-3, con $17.5\% \text{ST}$ y 45 días de tiempo de residencia, produjo hasta 2.75 litros por días y una producción global de $0.002 \text{ m}^3/\text{Kg. S.T.}$ La más baja de toda la batería; este minidigestor en las 4 veces que se destapó por paralización por producción, se comprobó que la materia prima estaba intacta, lo que indica que la producción detectada era del excremento de ganado utilizado como colonia de bacterias.

Examinando todas las producciones de la batería de mi nidigestores, el preprocesamiento de la materia prima, la facilidad de conseguirla, las interrupciones en la producción, indudablemente que presentó para este caso todas las ventajas, las cáscaras de habas serranas y arvejas (*vicia faba*,¹ y *pisum sativum*,¹), porque fue muy fácil recogerlo de las plazas urbanas, no siendo así el cisco de café y el tamo de arroz que fue necesario trasladarse a lugares de producción para conseguirlo. La baja producción del tamo de arroz y el cisco de café se presentó debido al alto porcentaje de materiales duros que poseían, principalmente el tamo de arroz y que se conoce con el nombre de lignina, presente en gran escala en la madera.

No se sabe exactamente en que proporción afecta al sistema la agitación porque no se tenía agitador en la batería. El digestor con la mayor producción nunca se agitó, los demás si cada vez que se los detapaba para investigar la paralización de la producción. En estos casos se medía ocasionalmente el ph con una cinta tornasol y por lo general se comprobaba que es ligeramente básico. Hubo problema al medir el ph, debido a que en ciertas ocasiones es difícil establecer -

el color, para compararlo con la tabla, pero por lo general se presentó Básico, excepto los productos de los minidigestores de plásticos que se presentaron ácido.

Siempre se notó una marcada estratificación, en donde el agua ocupaba la parte superior. Se detectó poca cantidad de espuma en los residuos agrícolas.

Los valores de producción presentados se considerarán que no son óptimos, si se toma en cuenta las paralizaciones presentadas y en el mal uso del equipo por inexperiencia, además se detectó en ciertos momentos escapes de hasta 10%; y en ocasiones en que sobrepasó la cantidad de almacenamiento.

Los datos presentados en las tablas del capítulo III son mayores al compararla con la producción de la batería de minidigestores. Se debe considerar que las tablas dan información incompleta, pues no indican todas las condiciones de operación. La tabla 3-6 presenta para los desechos de maíz, arroz, trigo y cebada una producción de $0.37 \text{ m}^3/\text{Kg. S.T.}$, que con respecto a la mejor producción de la minibatería

es 40 % mayor. I si se compara para el tamo de arroz y el cisco de café la diferencia es demasiado grande.

En la figura 5-7, se nota que existe un desfase en la producción entre el minidigestor con cáscara combinado, y el que tiene sólo cáscara de habas serranas (vicia faba,1). Si se traslada paralelamente la curva de la menor producción (vicia faba,1), se nota la similitud de la forma de la curva, y si se considera que el de menor producción tiene 28 días menos de tiempo de residencia, sumado a esto que el digestor con la combinación de cáscaras fue mejor operado, que se encontraban en diferentes etapa de producción, y que en la combinación sólo existe 25 % de cáscara de arvejas (pisum sativum) del peso de las cáscaras; no es equivocado decir que la producción de estos dos minidigestores presentan producciones globales similares.

En el analizador Orsat se midió CO_2 y O_2 . El metano - se lo calcula por diferencia, asumiendo en caso de - presencia de O_2 3 veces de N_2 y un 5 % como mínimo de H_2 . La suma de estos componentes restado de 100 da aproximadamente el contenido de metano con bastante - seguridad. Posteriormente usando el cromatógrafo de

CEPE campamento de Cautiva, Cantón Sta. Elena, Provincia del Guayas, y con la ayuda del Dr. Miguel Vélez, junto con el egresado Wilson Chávez Hidalgo, quienes hicieron los análisis usando muestras del minidigestor con cáscara de habas serranas (vicia faba,1) se encontró los siguientes valores:

%METANO	%CO ₂	%O ₂	%N ₂
75.7	10.65	3.53	10.1

Es de notar que el contenido de metano es más elevado que los resultados en el orsat. Es probable que esta muestra estuviese enriquecida debido a que el CO₂ se pierde más fácilmente que el metano, lo que no es raro debido a que la muestra se encontraba en un ble ry o bolsa de caucho, que dejaba escapar aunque len tamente el dióxido de carbono, más aún si era imposi ble analizar las muestras antes de 3 días. Fue impo sible realizar los análisis en el cromatógrafo de ga ses de la ESPOL, a cargo del Instituto de Química pa ra utilizar muestras frescas. Lo positivo de esta comparación es que se detectó la presencia de metano, que se lo había hecho tan sólo con el uso de los que madores, y con pruebas directas de la salida del gas

de los minigasómetros.

El cisco de café presentó la mayor producción diaria de toda la batería, probablemente el gas estaba renido y salió ese día, pues no se registró nuevamente esta producción. Al orsat presentó el mayor contenido de metano que los demás, con 73 %, en cuanto a la cantidad no se justifica, pues si lo multiplicamos - por la producción global obtenemos un volumen de metano pequeño.

En el Capítulo III, se dijo que aunque el rango de operación para las bacterias mesófilas es de 21-40°C, la óptima estaba entre 30-40 C. El hecho de tener - temperatura hasta 18 C por las noches hizo que las - pruebas iniciales en los minidigestores de plástico fracasara.

En la batería de minidigestores indudablemente el aislamiento térmico impidió en parte este efecto negativo, pero es solo una de las causas de que la producción no sea la mejor.

Aunque se comprobó que después de 80 días los digesto-

res con cisco de café todavía producción,, se observa especialmente para la combinación de cáscaras de habas serranas y arvejas que en los 60 primeros días se obtiene por lo menos el 75 % de la producción total.

5.3. USOS DEL BIOGAS

Numerosos investigadores extranjeros han afirmado que tiene excelentes usos domésticos: Alumbrado, calefacción, cocción, etc. En el Ecuador estudios realizados por la ESPOL, especialmente en varias Tesis de Grado, lo han ratificado. Para mayores detalles consultar Larco (12) y Villacrés (19).

En 1982, Ecuador tiene un consumo diario de 340 toneladas métricas de LPG (gases líquidos del petróleo) para uso doméstico, de las cuales el 45 % es importada de Venezuela, se tiene que se importa un equivalente de 62791 T EP por año. Si se estima que todavía existe en el país muchas zonas rurales que utilizan madera de la toma y tala indiscriminada de árboles; se tiene un potencial virgen para la utilización del biogas, por

otra parte, CEPE declara a raíz de la eliminación del sacrificio fiscal del estado para la gasolina, que el subsidio para el LPG no se había eliminado, y que el estado pierde S/.20.00 por cada Kg., de gas importado que consumen los ecuatorianos, además manifiesta - que existe un incremento de 24 % anual del consumo de este combustible, que equivale a un aumento de 11% - anual en las importaciones de LPG.

Actualmente INE ha construído algunos digestores en el país que utilizan por lo general excrementos de animales y que se encuentran en áreas rurales. La ESPOL junto con el cuerpo de paz de los EE.UU. y la colaboración del INE construyó un digester de 14 toneladas para generar cerca de $3 \text{ m}^3/\text{día}$ de biogas y que se encuentra en funcionamiento, para el uso de la escuela Eloy Alfaro de la población La Moya (Cantón Alausí, Provincia del Chimborazo).

En el Apéndice se hace un estudio de costo para un digester de 10 m^3 , el mismo que señala que en el Ecuador el uso de biogas es rentable.

CONCLUSIONES EXPERIMENTALES

- La temperatura interna de la batería de minidigestores es por lo general casi similar al promedio de la temperatura del día.
- En los minidigestores de plástico la pérdida de calor por las noches hicieron que la producción sea ineficiente.
- Es posible que a temperatura no variable el proceso anaeróbico guarde una eficiencia mayor que a temperatura alta oscilante.
- La temperatura interna de la batería de minidigestores permaneció prácticamente constante, aún en horas en que la temperatura ambiental era notablemente diferente, debido al aislamiento térmico con plumavit.
- El tamo de arroz presentó la más baja producción de la

- batería de minidigestores con 60 % de metano. Es posi
ble mejorar esta producción mejorando la metodología -
de carga y con la ayuda de algún preprocesamiento.
- El cisco de café presentó hasta 73 % de metano en el -
Orsat, siendo el más alto valor de toda la batería de
minidigestores, pero su productividad todavía es baja,
con posibilidad de ser mejorada.
 - La mejor producción de volumen de biogas es la combinaci
ón de cáscara de habas serranas y arvejas, pero -
también presenta el menor contenido de metano de la bate
ría, pues tiene generalmente 45 % de metano. Esto
indica que el mejor volumen de producción no está acompa
ñada siempre del mejor contenido del metano.
 - Se puede producir biogas a partir de las cáscaras de
habas serranas y arvejas sin necesidad de añadir urea,
cal (hidróxido de calcio), etc., ni tampoco de preprocesa
miento, pero es posible que mejorando la relación C/N
hasta llegar a la de 20 recomendada por Ram Bux Singh,
y aumentando el ph, hasta hacerlo básico (5.6, al momento
de la carga), mejorando estos parámetros añadiendo -
ciertas sustancias, y de esta manera subir la producti-

vidad hasta que se acerque a la óptima.

- No fue posible hacer una comparación adecuada con productos iguales en la Bibliografía consultada. Sin embargo, OLADE(15) presenta con respecto a residuos como el excremento vacuno, y para residuos agrícolas: cebada, maíz, - rastrojo de arroz, trigo; los valores de OLADE son mayores en 30 y 40 % con respecto a la mejor producción de la batería de minidigestores si se los compara en m^3/Kg S.T. porque si se los comparan por Kg. de mezcla fresca la diferencia es mayor.
- En el Apéndice se presenta el potencial de residuos agrícolas para generar biogas que existe en el país.

Un cálculo bastante conservador indica que es posible generar los 427151 BEP/AÑO que en 1982 se compró a Venezuela, por concepto de importación de 67320 TON. Métricas de LPG, y de esta forma descentralizar e independizar la producción de fertilizante y energía.

- Se hizo imposible evaluar experimentalmente el potencial enorme de la totalidad de residuos agrícolas del país, de allí que a todas luces el estudio apenas se ha empezado.

CAPITULO VI

DISEÑO GLOBAL DE UNA PLANTA DE BIOGAS

El diseño de una planta de biogas debe ser basado en uno de los objetivos:

- a. La producción de biogas de sustratos disponibles localmente, con su uso sujeto a la cantidad de biogas producido.
- b. La producción de una requerida cantidad de biogas para un uso específico, tal como calentamiento, alumbrado, motores de combustión interna, cocción, etc.

Por lo general se diseña para este segundo propósito.

6.1. PARAMETROS

En el capítulo III, se estableció una serie de parámetros clasificado para objeto de estudio de la producción.

Ahora este término se va a referir a los parámetros de diseño.

Para que una construcción de una planta de biogas se - justifique tres pre-requisitos deben al menos ser cumplidos.

- a. Debe justificarse economicamente cuando se trata de pequeñas plantas de biogas,^o al menos en sus beneficios.
- b. Debe existir suficiente cantidad de materia prima para satisfacer la producción requerida.
- c. Suministro necesario de agua.

6.1.1. Requerimientos generales para diseñar un digestor

En el diseño de la planta de biogas, las consideraciones para la selección del diseño incluyen:

- La materia prima disponible
- El tipo de materia prima disponible
- El promedio del tamaño de la materia prima
- Requerimiento de calentamiento
- Requerimiento de agitación,y;
- Materiales de construcción disponibles.

De todos los factores excepto el último son importante para determinar la cantidad de gas - producido.

Cuando se calientan los digestores, el proceso del digester es acelerado, reduciendo el tiempo de residencia y el tamaño del digester puede - ser más pequeño que para una unidad no calentada. Sin embargo es importante saber que energía es necesaria para calentar el digester.

Cuando el volumen del digester ya ha sido calcu lado, lo próximo es encontrar su forma y dimensio nes. La mayoría de los digestores verticales son cilíndricos, y los de pequeños tamaño tienden a ser más altos que anchos. Los digestores de más de 76 m^3 al ser más alto y delgado ciertamente - ocupan menos espacios, pero aparecen problemas en su construcción por ser muy alto el tanque. Si se necesita diseñar un digester muy grande, será necesario requerir de ingeniería especializada.

Las formas cilíndricas son usualmente escogidas - por varias razones. Un cilindro no tiene esquinas

y el mezclado puede ser más eficiente, también presenta una pequeña área por volumen, que es importante para minimizar las pérdidas de calor, los espacios de tierra que ocupan los tanques cilíndricos son menos que los requeridos por un tanque de forma cúbica; y últimamente es regularmente fácil de construir ya sea en acero, concreto, caucho, etc.

Una de la más importante consideración cuando se diseña los digestores son las bases de los terrenos.

Los digestores grandes, más el peso del sustrato ejercen una presión considerable sobre el terreno. Obviamente los digestores deben ser construídos sobre lugares estables y firmes.

El área terrenal que la planta debe ocupar debe ser calculada considerando el tanque, el tamaño del gasómetro, tanques de almacenamientos, bombas e intercambiadores de calor si son necesarios, espacios entre los tanques y accesos a ellos, lugar de recolección de desechos orgánii

cos, y en caso de necesitarse un lugar para preprocesamiento, etc.

El tamaño del gasómetro es calculado con la tasa de producción por hora del gas multiplicado por el tiempo de almacenamiento requerido. La mayoría de los gasómetros construidos en el país son cilíndricos y las dimensiones pueden ser estimadas de la misma manera como los digestores. El tamaño del tanque de almacenamiento está de acuerdo a las requeridas necesidades de almacenamiento.

El área alrededor de un digestor, sin embargo, no debe tener demasiada pendiente, por si exista derribe de sustrato, causando así contaminación; los digestores no deben ser situados en los bancos de ríos o lagos.

Un buen suministro de agua es también necesario para diluir los residuos orgánicos si están poco diluídos como para limpiar los equipos regularmente.

Finalmente los digestores deben ser fácilmente

accesibles en todas las estaciones, para su ope
ración y mantenimiento.

A continuación se hace una lista con preguntas -
que engloba mucho de los aspectos necesarios pa
ra diseñar digestores.

a. Características de los residuos orgánicos

- Volumen producido por día
- Peso de los sólidos volátiles por día
- Contenido de humedad
- Contenido de nitrógeno
- Relación C/N

b. Puede ser el residuo orgánico fácilmente di
gerido en este lugar?

- Tamaño del digestor
- Tiempo de residencia

c. Necesita el residuo orgánico tratamiento posterior?

- Dilución
- Concentración
- Adiciones químicas, por ejemplo oxido de calcio
- Adiciones de otros materiales para alterar la relación C:N
- Grandes sólidos que deben ser cortados o macerados.

d. Sitio para el digestor

- Presenta el sitio las mejores ventajas?
- Necesidades de bombas; ya sea para entrar el sustrato al digestor, recircular el agua de calentamiento, recircular el sustrato a través de un intercambiador de calor, o para desalojar la materia prima del digestor.

- Si el desecho es bombeable, y si las bombas están protegidas de desechos grandes por medio de un filtro.
- Qué pasa si eventualmente la bomba falla? Es necesario una bomba de emergencia con un circuito adecuado?

e. Línea de alimentación del sustrato

- Mínimo de 7.5 cm., de diámetro
- Para fácil drenaje y limpieza
- Sistema flexible, para permitir algún cambio de operación.
- No generador de presiones negativas en el interior del digestor
- Aislamiento

f. El digestor

- Evitar dejar espacios ocultos con el material utilizado.
- Previsión de puertas grandes y agujeros

para sacar muestras y acceso para faci
lidades y acceso para facilidades de -
limpieza.

- Todas las partes móviles, por ejemplo:
mezcladores, bombas de recirculación ,
deben estar ubicadas fuera del digestor
para facilidades de mantenimiento.
- Facilidad para remover natas y sedimen-
tos.
- Válvulas de seguridad cuando haya exce_
so de producción de gas.
- Termómetros, termostatos
- Pérdidas de calor, necesidad de un inter_
cambiador de calor?
- Aislamiento.
- Protección contra la corrosión

g. Gasómetro y tubería de distribución

- El gasómetro tiene que mantener carga cerca de 20 cm. de agua de presión manométrica
- Válvula de alivio de presión.
- Excelente ventilación
- Válvulas de no retorno en las tuberías de distribución.
- Trampas de condensación.
- Comprobación de escapes.
- Aislamientos.
- Protección contra corrosión.

h. Seguridad

- El digestor debe ser construído sobre terreno firme, no pantanoso, etc.

- Las conexiones eléctricas cerca del digestor deben ser protegidas de llamas y mantenidas en excelentes condiciones.
- Bombas, válvulas, calentadores, etc., deben tener adecuada ventilación para facilitar la evacuación de gases si estos se escapan.

i. Usos para el biogas

- Se ha hecho un balance en el uso del gas a ser producido?
- Está el tamaño del gasómetro diseñado para eventuales irregularidades ?
- En una eventual falla de digestores, que alternativas de fuentes de energía están disponibles?
- Es necesario separación y compresión del biogas?

j. Usos para el fertilizante

- Es la producción de materiales digeridos balanceados cuidadosamente para su utilización ?
- Cuál es la tasa de producción de bio-abono que debe ser aplicada para la utilización máxima del fertilizante contenido en los residuos agrícolas?
- Qué pasa cuando el bio-abono no puede ser removido por ejemplo: debido a malas condiciones ambientales?
- Dónde poner el sustrato del digestor en caso de emergencias sin crear polución? Sacrificará ciertas tierras?
- Qué hacer cuando se acumula demasiado sobrenadante y espuma y hay necesidad de quitarlo ?

Digestores de todo tipo pueden ser construídos sobre o bajo la tierra. En países tropicales se utiliza la energía solar para calentar el digestor si la temperatura ambiental la baja, pero se debe resolver la caída de temperatura por las noches. En los lugares en que el nivel freático es muy elevado (por ejemplo: Guayaquil) o consideraciones de diseño hacen imposible construirlo - bajo tierra, necesariamente tiene que ser - aislado termicamente. Meynell (13) dice que la mayoría de la temperatura interna de los digestores se encuentran en el rango de 30-35°C., pero pruebas en nuestro medio no confirman esto.

El excremento de ganado vacuno es expulsado cerca de 35°C, que es el óptimo para la digestión. Si la distancia entre los sitios de recolección son muy grandes existen necesidad de transportación y calentamiento.

Cuando se llena el digestor con materia fria

se eleva gradualmente, no excediendo 2°C., por día, haciéndose más fácil cuando el gradiente externo lo facilita por tener mayor temperatura (13).

6.1.1.1. Aislamiento térmico de digestores:

Se ha encontrado lugares con adecuada cantidad de residuos orgánicos, - con el inconveniente de poseer bajas temperaturas ambientales. El efecto inmediato es el de operarse un gradiente elevado de temperatura, entre la interna del digestor que debe ser 30 °C y la ambiental. Mientras mayor sea este gradiente, más serán - las pérdivas del calor, lo dicen todas las fórmulas de transmisión de calor; son directamente proporcionales al gradiente de temperatura.

$$Q \propto \Delta T \quad (1)$$

Basicamente es difícil en la práctica

encontrar materiales aislantes ideales, pero si retardan el cambio brusco y evitan pérdidas mayores.

El digestor construido por la ESPOL en la moya, fue hecho bajo la tierra porque no existió problema por el bajo nivel freático, y para evitar los cambios bruscos de temperatura. Villacrés (19) indica que la temperatura promedio en la moya es de 16.3°C ., la baja es 10°C y la alta 24°C . La moya pertenece al cantón Alausí, provincia del Chimborazo. Allí claramente se nota que existirían enormes pérdidas de calor de intentar mantener el digestor a la temperatura de producción óptima, que se manifiesta en un bajo rendimiento de producción. El aislamiento en este caso era la tierra, porque se construyó bajo de ella, la cual en ausencia de agua es un buen aislante. Debe hacerse notar que de no haber calentamiento ex

terno, la temperatura del sustrato se mantiene en este caso muy cercana a la de la tierra a la profundidad considerada.

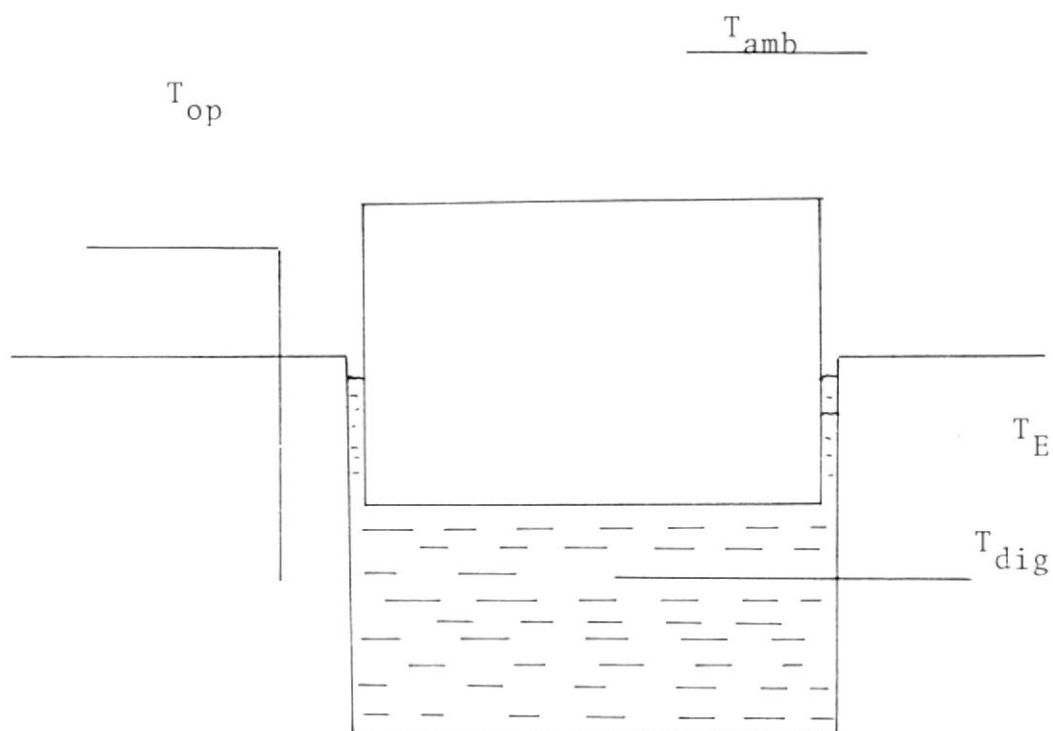
La producción del digestor de la moya bajo inicialmente hasta 60 % de la producción esperada, pero mejorado posteriormente al calentar la materia prima en la carga, por medio de un colector solar, que es realmente un intercambiador de calor que utiliza energía solar. Esta experiencia demostró la necesidad de evitar cambios bruscos de temperatura.

La figura 6-1, indica las temperaturas relacionadas en un proceso anaeróbico.

Casí todos los materiales pueden almacenar o ceder calor en mayor o menor grado. La fórmula (2) estable-

FIGURA 6-1

TEMPERATURAS RELACIONADAS EN UNA PLANTA DE
BIOGAS SUBTERRANEA



T_{op} = Temperatura óptima del sustrato

T_{amb} = Temperatura ambiental

T_E = Temperatura Exterior o tierra

T_{Dig} = Temperatura digester

el calor necesario para elevar el nivel térmico de la masa de una temperatura T_1 a T_2 .

CALENTAMIENTO

$$(E_n)_{\text{calent.}} = MC (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Donde:

T_1 = Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Temperatura final (después de calentada) $^{\circ}\text{C}$

C = Calor específico en la masa en $\frac{\text{K cal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$

M = Masa del sustrato (Kg.)

Una vez calentada la masa, como el ambiente está "frio", existe un gradiente de temperatura, existiendo por lo tanto perdida a través de las paredes,

que deben ser consideradas si se quiere mantener una temperatura interna - constante en el digestor.

PERDIDAS

El calor perdido a través de las paredes con área = A, con coeficiente global U, temperatura interior T_i , y temperatura externa T_o se define por (3)

$$Q_L = UA (T_i - T_o) \quad (3)$$

Donde:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{e}{K}} \quad (4)$$

h_e = coeficiente de convección superficial

e = espesor de un determinado material de pared

K = coeficiente de conductividad de los diferentes materiales.

La fórmula (2) indica el calor necesario para elevar la temperatura del sustrato en 1°C , ahora bien, si el digestor está bien aislado, no se pierde toda la ganancia de temperatura (1°C) sino que se mantiene una parte, y lo que se pierde está dado por (3). Es obvio que cuanto más alto es el valor de T_i , más pérdida de calor ocurrirá. Si el digestor se calienta periódicamente ó semiperíodicamente (diariamente), entonces la temperatura que adquiere el digestor se encuentra igualando el calor suministrado con el calor perdido. Entonces:

$$Q_{\text{SUM}} = Q_L = UA (T_i - T_o)$$

Entonces:

$$(T_i)_{\text{final}} = T_o + \frac{Q_{\text{SUM}}}{UA} \quad (5)$$

Donde:

T_o = temperatura ambiental o temperatura del suelo.

Con el análisis anterior se procede hacer el cálculo necesario para mantener la temperatura ideal a un minidigestor de la batería y del digestor de la moya.

PARA LA BATERIA DE MINIDIGESTORES

Asumiendo que el C es del agua, porque el 92 % del sustrato es agua, y toma los datos de la tabla 5-1 y sacando la temperatura promedio digestor se tiene:

$$Q = 47.5 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ K Cal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \quad (30 - 27)$$

$$Q = 142.5 \text{ K Cal.}$$

Donde:

$Q = 142.5$ es el calor necesario suministrado para tener la temperatura interna del digestor 30° y la ambiental es 27°C .

La figura 6-2 indica detalles de las paredes de un minid.

Los datos posteriores sirven para calcular U :

e_1 para el cemento = 1 mm.

$$K_1 = \text{para el cemento} = \frac{0.6 \text{ K Cal}}{\text{h m}^\circ\text{C}}$$

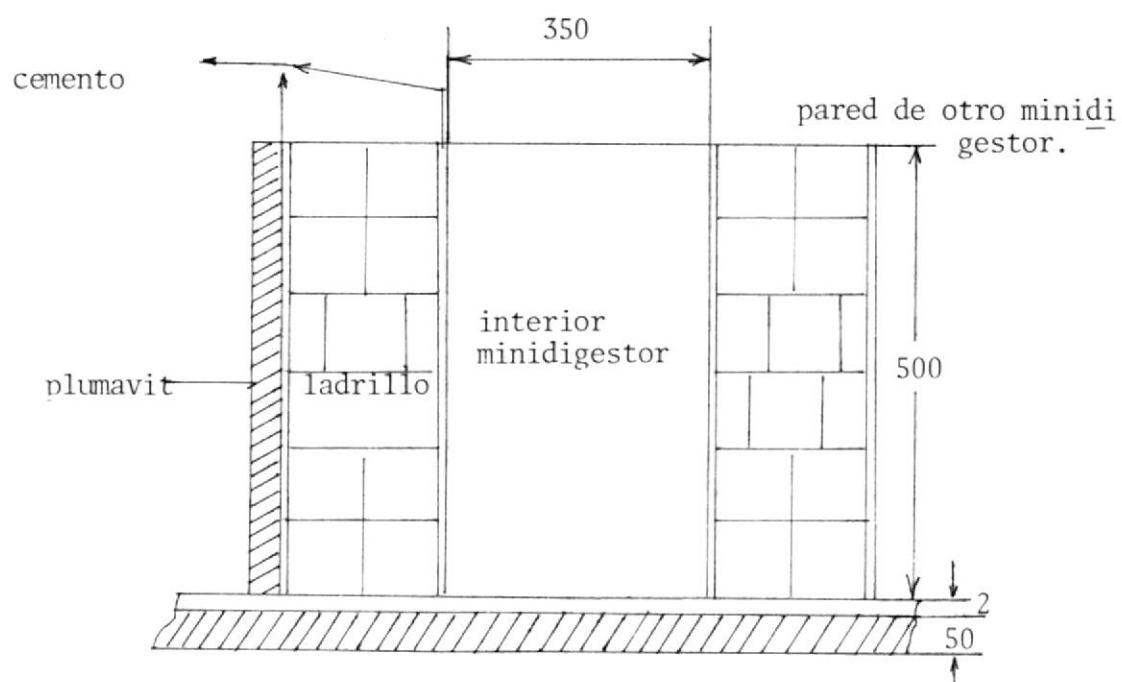
e_2 = para ladrillo = 200 mm

$$K_2 = \text{para el ladrillo} = \frac{0.3 \text{ K Cal}}{\text{h m}^\circ\text{C}}$$

e_3 = para el plumavit = 40 mm

$$K_3 = 0.06 \frac{\text{K Cal}}{\text{h m}^\circ\text{C}}$$

FIGURA 6-2
DETALLES DE LAS PAREDES INTERNAS DEL DIGESTOR



$$h_e = 7 \frac{\text{K Cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ para el aire exterior}$$

$$K_4 = \text{para concreto con piedra} =$$

$$0.81 \frac{\text{K Cal}}{\text{h m} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$K_5 = 0.6 \frac{\text{K Cal}}{\text{h m} \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ para tierra mojada}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{e_3}{K_3} + \dots}$$

Para facilitar los cálculos asumiremos que de las 4 caras laterales del digestor, las que están en contacto con el ambiente, son las que presentan las mayores pérdidas; se procede a calcular las pérdidas de las paredes laterales y el suelo, escogiendo la mayor de las dos como el U_{Total} ; siendo esta asunción aceptable debido a que por la parte superior también existen pérdi

das aunque en menor grado, porque el área es menor y existe un espacio de 25 cm. entre el sustrato y la tapa - metálica. Estando esta última cubierta con troncos y piedra. En definitiva el verdadero valor no se encuentra muy alejado del cálculo presentado.

U_{PA} = para las paredes =

$$\frac{1}{\frac{1}{7} + 2 \left(\frac{0.01}{0.6} \right) + \frac{0.2}{0.3} + \frac{0.04}{0.06}}$$

$$U_{PA} = 0.6624 \frac{\text{K Cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

U_{Pis} = para el piso =

$$\frac{1}{\frac{0.02}{0.6} + \frac{0.05}{0.81} + \frac{1}{0.6}} = 0.567$$

$$U_{Pis} = 0.567 \frac{\text{K Cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$U_{Pa} = U_{Total} = 0.6624 \frac{K \text{ Cal}}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = 2(0.5)(0.35) + (0.35)^2 = 0.47 \text{ m}^2$$

$$Q_L = 0.662 \frac{K \text{ Cal}}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times 0.47 \text{ m}^2 \times (30 - 27)^\circ\text{C}$$

$$Q_L = 0.9342 \frac{K \text{ Cal}}{h} = 221 \frac{K \text{ cal}}{\text{día}}$$

Ahora establecerá el porcentaje de pérdidas que se elimina al usar el plumavit, en base al U_{Total} , debido a que el área y el gradiente de temperatura es el mismo. El U sin plumavit = $1.16 \frac{K \text{ Cal}}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$

% Pérdidas disminuídas =

$$\frac{1.16 - 0.662}{1.16} \times 100 = 42.9 \%$$

Si el gradiente de temperatura fuera un 1°C el valor de $Q_L = 0.311$, es decir 3 veces -

menos en lo sucesivo si el gradiente de temperatura es más de 1°C se multiplica el gradiente por el último valor de Q_L y se obtiene las pérdidas.

PARA LA MOYA

$$M = 14000 \text{ Kg}$$

$$\Delta T = 1^\circ\text{C}$$

Se le quiere calentar 1°C

$$(E_n)_{1^\circ\text{C}} = 14000 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{K cal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times 1^\circ\text{C} = 14000 \text{ K cal}$$

o sea se requiere suministrar 1000 K cal/día por un periodo de 14 días para elevar la temperatura del digestor en 1°C. Si se requiere elevar en 6°C., la cantidad de calor será 6 veces más.

Por otro lado las pérdidas:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0.6} + \frac{0.27}{0.6}} = 0.472 \frac{\text{K cal}}{\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$T_{\text{media}} = 19^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{op}} = 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 3^\circ\text{C}$$

$$A = 2(1.65)(2.0) + 2(4.4)(2) + 2(1.65)(4.4) = 38.72 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.472 \frac{\text{K cal}}{\text{hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}} \times 38.72 \text{ m}^2 (3^\circ\text{C}) = 54.87 \frac{\text{K cal}}{\text{h}} = 1316 \frac{\text{K cal}}{\text{día}}$$

Se necesita para elevar la temperatura del digestor

desde 19°C a 25°C, y para llegar a ese nivel térmico se requerirá suministrar por un lado 6000 K cal/día por un total de 14 días (o combinación equivalente); y por otro lado, deberá contrarrestar pérdidas durante este proceso de calentamiento a razón de 1316 K cal/día. Una vez que el digestor alcance los 25°C, el gradiente de temperatura con respecto al ambiente será de 6°C., y la cantidad de calor necesaria para contrarrestar pérdidas será entonces de 2634 K cal/día. En el proceso de operación estable, el calor para calentamiento se lo aplica sólo al comienzo. Se hará entonces necesario recomendar que el digestor se aisle ó se construya bajo tierra para que las pérdidas por transferencia de calor se mantengan dentro de este nivel.

Con los ejemplos anteriormente vistos se demuestra que es no adecuado operar con digestores sin aislamiento. El espesor requerido para el aislamiento puede ser calculado con la fórmula (3) conociendo las propiedades físicas del material a

utilizarse. Kreith (11) da una lista larga acerca de ellos. Sin embargo, los materiales aislantes deben mantenerse secos porque la humedad disminuye la eficiencia en cuanto a renener calor. Esto es una gran desventaja de la fibra de vidrio comparada con el politireno expandido. Otro método es usar paja, cubrir el digestor con tierra que es muy usado, pero esta vez la gran humedad puede hacerle perder el adecuado aislamiento.

Si el digestor tiene un intercambia-
dor de calor, las tuberías deben tam-
bién ser aisladas para disminuír las
pérdidas.

6.1.2. Consideraciones de diseño independiente del - tamaño

Se incluye lo siguiente:

- Minimizar problemas de corrosión

- Prevenir contaminación de fuentes cercanas de agua para consumo humano.
- Determinación del mejor flujo de material.
- Selección de materiales de construcción.

La corrosión es un problema serio que se presenta por el contacto de parte metálica del sistema con el H_2S , y otros ácidos orgánicos. Es necesario pintar estas partes con pinturas anticorrosivas.

El flujo de materiales debería ser considerado antes del diseño del sistema. Plantas tipo tanda pueden ser construídas donde el suministro de material diariamente es difícil de obtener. Singh (17) sugiere que digestores tanda deben ser usados con residuos agrícolas tales como, tallos de maíz, tallo de caña de azúcar, que no pueden fluir suavemente a través de una alimentación semicontinua. Después de 14 días de cargados comienzan a producir y continúan por tres meses.

Es importante que los materiales de construcción que no requieren mínimo mantenimiento deben ser especificados; el uso de materiales no convencionales, flexibles, tales como neumáticos, plástico, caucho y otras fibras sintéticas en la construcción de plantas de biogas es riesgoso - porque la información disponible es escasa en cuanto a confiabilidad, funcionamiento, mantenimiento y durabilidad en el área rural. El alto costo del acero y las dificultades locales en la construcción pueden limitar su construcción; la utilización de piedra, ladrillos, cementos y acero hacen digestores durables.

6.2. COSTOS

Es muy difícil hacer análisis de costos para el proceso de digestión anaeróbica sin referirse a un caso en particular por lo que posteriormente se citará a un ejemplo de Barriga (4), para ilustrar el caso; sin embargo se dará una lista para que los interesados puedan poner los costos reales, y hacer un balance contra los beneficios, para determinar si el proyecto es rentable. Hacer análisis de costos de tipo de investiga

ción no es conveniente, pues en general el objetivo que se persigue es buscar nuevos conocimientos con desafiantes aplicaciones.

Obviamente no todo lo que está en listado podrá ser aplicado en cada caso. Se hace hincapié en que los beneficios principales del proceso, es el biogas y el bioabono mejorado existiendo otros beneficios que son muy difíciles de valorar, sin que estos signifiquen que no tengan su validez.

6.2.1. Cálculo de Costos de Beneficios

A. Producción de biogas

- | | |
|---|---------|
| a. Producción anual de gas en m^3 | |
| b. Valor energético del gas en (Kj/m^3) | |
| c. Valor de la energía producida KJ | |
| (axb). | |
| d. Costo existente por unidad de energía..... | |
| S/ / KJ | |
| e. Ahorro anual (c x d) | S/..... |

B. Fertilizantes

f. Incremento en el suministro N ₂ Unid/Ton.
g. Costo actual por unidad de N ₂	S/.....
h. Costo de fertilizante por Ton. (fxg).....	S/.....
i. Producción anual en tonelada
j. Costo anual ahorrado (h x j)	S/.....
k. Total ahorrado (e + k)	S/.....

C. Ventajas de costo intangibles

- Disminución de contaminación ambiental
- Reducciones de malos olores.
- Otros.

6.2.2. Cálculo de operación y mantenimiento

A) COSTOS VARIABLES	SISTEMA ACTUAL S./AÑO	DIGESTOR ANAEROBICO S./AÑO	DIFERENCIA DE COSTOS S./ AÑO
i. Energía para co lección de resí duos orgánicos	-----	-----	-----

ii)Uso de agua	-----	-----	-----
iii)Costo de labor de:			
Colección	-----	-----	-----
Supervisión de			
planta	-----	-----	-----
Preparación del			
porcentaje de -			
sólidos adecua-			
dos	-----	-----	-----
iv)Energía para el			
proceso:			
Separación de ga			
ses	-----	-----	-----
Calentamiento	-----	-----	-----
Mezclado	-----	-----	-----
Bombeado	-----	-----	-----
Compresión	-----	-----	-----
v)Químicos	-----	-----	-----
m=TOTAL DE COSTOS VARIABLE/AÑO			-----

B. COSTOS SEMIVARIABLES

i. Mantenimiento	-----	-----	-----
ii. Energía de arranque	-----	-----	-----
n = Total costo semivariable/por año			-----

C. COSTO FIJO

i. Depreciación:

	Año de Vida	Costo total S/.	Costo neto S/.	Depreciación/ año S/.año
Preparación del sitio	20	-----	-----	-----
Tanque del alma cenamiento	15	-----	-----	-----
Digestor y equi pos auxiliares	15	-----	-----	-----
Equipo de colección de gas	10	-----	-----	-----
Equipo de utiliza ción de gas	10	-----	-----	-----
Sistema control	5	-----	-----	-----
Total depreciación por año				-----
ii)Costo de capital por año		$\{Ci (1+i)^n / (1+i)^n - 1\}$		-----
iii)Seguro incremento/decremento por año				-----

iv) Costo de la tierra	-----
v) Incremento/decremento en tasa	-----
vi) Permiso y/o impuesto	-----
p total de costo fijo/por año	_____

6.2.3. Costo total neto ahorrado por año

El total anual ahorrado es =	$1 - (m+n+p)$
1 = costo total tangible/año	-----
m = total variable costo/año	-----
n = costo semivariable/total/ año	-----
p = total costo fijo/año	-----
Total de(m+n+p)	_____
TOTAL ANUAL AHORRADO	_____

Para la construcción del digestor de la moya, Barriga (4) presenta adecuados costos en los que se nota una simplificación pues la lista general presentada es para un proyecto global privado, y el de la tabla 6-1 fue para una es

cuela pública. En este balance de costos se aprecia que sí no se considera el bio-abono, los efectos sociales y el saber que el precio de la bombona de LPG realmente cuesta dos veces más, según Universo(20), el resultado puede ser tan positivo como se espera.

Es decir, actualmente al público cuesta S/.10.5 por Kg LP, pero según las declaraciones del actual Ministro de Recursos Naturales y Energéticos, le cuesta al país S/.20,00 más ; sin embargo CEPE compra a S/.14.75/Kg. LPG CIF, que indica que existe un porcentaje de gasto en comercialización y que realmente el costo presente está con sacrificio fiscal; con estas dos últimas consideraciones el proyecto tiene que ser necesariamente rentable.

TABLA 6-1

ANALISIS DE COSTO DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE UN DIGESTOR DE 10 m^3
(PRODUCCION DE GAS: $3 \text{ m}^3/\text{DIA}$). (Tomado de 4).

a. COSTO	
Construcción *	S/. 20.000,00 (Quince mil,00/100 sucres)
Operación	30 horas-hombre/mes
Costo	S/. 1.000,00 - 2.000/mes
	S/. 12.000,00 - 24.000/año
b. VALOR ENERGETICO	
Producción de gas	$3 \text{ m}^3/\text{dia}$ $1.100 \text{ m}^3/\text{año}$
Poder calorífico Biogas:	$20420 \text{ KJ}/\text{m}^3$ - biogas
Contenido energético en la producción anual (1.100 m^3 biogas)	$22.75 \times 10^6 \text{ KJ}/\text{año}$
c. GAS DE BOTELLA (LPG)	
Contenido de bombona	14 kg gas LPG
Poder calorífico gas	$47580 \text{ KJ}/\text{Kg}$ -gas LPG
Contenido energético de 1 bombona (14 Kg)	$666130 \text{ KJ}/\text{Bombona LPG}$
Costo Comercial	S/. 150/Bombona (Ciento cincuenta,00/100, <u>su</u> cres).
d. EQUIVALENCIA	
1100 m^3 - biogas (Producción anual del digestor de 10 m^3).	33.72 Bombona-equivalente (14 Kg. LPG/Bombona) Costo: S/. 5060 (Cinco mil setenta,00/100 <u>su</u> cres).
e. BIOABONO	
Producción	25 Kg diarios de abono seco; $7500 \text{ Kg}/\text{año}$
Valor	Precio de venta aprox. S/. 2,00 Kg. Valor agregado estimado S/. 1,00 Kg. Valor agregado total del Bioabono S/7500/año

*Costos 1980 sin considerar griferia (S/. 5.000 extra)
Costos actuales 1982-83, percibidos en la tabla B-3.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El rango de temperaturas registrado en el proceso indican que las temperaturas pertenecen al rango mesofílico.
- El gradiente existente entre las temperaturas interna y ambiental fue hasta 8 °C., por las noches, haciendo disminuir la producción.
- Necesidad de aislar termicamente y usar calentamiento para mejorar la producción en lugares fríos.
- Por su composición física química los residuos agrícolas necesitan mayor tiempo de residencia en el digestor con respecto al excremento de ganado vacuno.
- La generación de biogas a partir de la cascarilla de arroz y cisco de café seco necesita ser optimizada. Las cáscaras de haba serrana y arvejas (vicia faba,1 y pisum sativum,1) presentaron la mejor producción, con posibilidades de mejorarlas. Actualmente se encuentran -

produciendo 40% menos que otros residuos agrícolas, y 30% menos que el excremento de ganado vacuno.

- No se puede asegurar si a grandes escalas los residuos agrícolas mejoren su producción con adiciones de otras sustancias y con abundante agitación.
- Utilizar los residuos agrícolas solo para generar biogas no es rentable, en los términos de un análisis financiero convencional.
- El proceso anaeróbico para uso rural, se hace rentable si se consideran los otros beneficios, entre ellos el uso por bioabono mejorado proveniente de los residuos agrícolas digeridos. Otros beneficios que podrían considerarse hacen relación con la producción local de combustible y la recirculación local del capital.
- Se jutifica el estudio del proceso anaeróbico como - fuente alterna de energía no convencional, ante el creciente costo en el país de los derivados del petróleo, que es fuente de energía no renovable, además en vista del potencial inexplotado de residuos agrícolas existenu

te en el país, y considerando además que antes de ser país dependiente del petróleo, el estado obtenía gran parte de su divisa de la exportación agrícola. La tecnología anaeróbica busca satisfacer dos necesidades - básicas como son alimentos y energía, muy importantes en este orden, sin necesidad de desembolsar grandes - capitales de tecnología sofisticada y sin destruir el orden ecológico en todos los niveles.

- Se requiere de más experimentaciones con la ayuda de recursos técnico, económico y humanos, en los momentos que se necesiten.

Entonces sólo en ese momento se estará cerca de los objetivos propuestos en el programa de biogas de la ESPOL

RECOMENDACIONES

PARA USO DEL EQUIPO:

- Trabajar con 25 cm., debajo del borde superior para el nivel de carga.
- Para evitar la formación de grandes burbujas en la masa del minidigestor que hacer subir el nivel de carga y aparecer mediciones no realistas, utilizar regillas anticorrosivas en la parte superior del sustrato.
- Añadir de alguna manera un mecanismo que permite periódicamente la agitación de la masa.
- Mejorar el sistema de drenaje para la limpieza del sello de agua.
- Suministrar un sistema para que la tapa no se levante e impida almacenarse el biogas en el minigasómetro.
- Mejorar el sistema de almacenamiento para evitar escapes.

pes.

PARA FUTURAS EXPERIMENTACIONES:

- Asesoramiento y colaboración de bioquímicos para mejorar los parámetros químicos antes de realizar las experimentaciones.

Utilizar residuos del banano como alternativa para complementar los estudios de la harina de banano en la ESPOL.

- Supervisión en la utilización de graficadores para las mediciones internas de temperatura, para corregir los errores que cause el corte de energía eléctrica.
- El % de humedad se encontró secando los residuos al sol, es posible mejorar este por medio de análisis químicas.
- Realizar análisis de gases con muestra fresca, pues los elementos se pierden en diferente proporción alterando el contenido inicial.

A P E N D I C E S

TABLA A-1. TEMPERATURA AMBIENTAL DE GUAYAQUIL

FECHA D-M-A	TEMPERATURA ° C																							MIN.	MAX	PROM.	DESVIA CION - STANDARD	
	Horas: 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22					23
19-5-82	22	21	21	21	21	205	20	20	22	25	27.5	27	27	26.5	25	25	24	23.5	23.5	23.5	23.5	22	20	27.5	23.0	2.41		
20-5-82	22	22	21	21	21	21	21	24	26	28	31	33.5	35	33	30	28	26	25	25	23	23	22	21	35	24.9	4.45		
21-5-82	22	21	21	21	20	20	20	21	23	23	24	25	27	28	27	26	25	24	24	23	23	22	21	28	22.88	2.44		
22-5-82	21	21	20	20	20	20	20	21	22	24	28	28	29	30	30	31	26	25	25	25	24	23	20	32	23.9	3.61		
23-5-82	23	22	21	21	21	21	21	23	25	28	30	31	32	32	31	29	28	28	25	25	25	23	23	21	25.0	3.92		
24-5-82	23	22	22	23	23	23	23	22	23	24	27	28	28	26	25	25	25	25	23	23	23	22	22	21	23.5	2.09		
25-5-82	21	22	21	20	20	20	20	22	26	28	29	30	32	34	35	30	28	27	26	25	24.5	23.5	23	20	35	23.3	3.22	
26-5-82	22	22	21	20	20	20	20	22	26	28	29	30	32	34	35	30	28	27	26	25	24.5	24	23	20	35	25.3	4.56	
27-5-82	23	22	22	21	21	21	20	20	22	25	30	30	30	30	30	30	26	25	25	22	21	21	20	30	24.1	3.81		
28-5-82	21	20	20	20	20	20	20	21	23	25	29	30	32	32	33	33	32	28	25	23	22	22	21	20	32.5	24.5	4.95	
29-5-82	20	20	20	20	20	20	20	20	22	25	28	31	33	33	33	31	28	26	25	24	22.5	22	21	20	33	24.4	4.63	
30-5-82	20	20	20	20	20	20	20	20	22	28	28	28	29	31	32	30	28	27	25	25	24	23	22	20	32	24.1	4.11	
1-6-82	21	20	20	20	20	19	20	24	25	27	28	31	32	34	32	30	30	27	25	23	22	21	21	20	34	24.8	4.32	
2-6-82	21	22	22	22	21	20	20	21	24	27	28	30	31	35	35	34	32	30	28	25	24	21	21	20	20	25.5	5.08	
3-6-82	22	20	20	20	20	20	20	23	26	29	30	30	31	34	33	33	32	29	27	27	27	25	23	22	20	25.4	5.06	
4-6-82	20	20	20	20	20	20	20	21	22	24	26	28	32	34	30	28	27	25	25	24	22	22	22	20	34	23.76	4.09	
5-6-82	21	20	20	20	20	20	20	22	23	26	28	29	30	31	30	28	26	25	25	25	23	22.5	22	20	31	23.94	3.69	
6-6-82	21	21	21	20	20	20	20	20	21	22	27	28	29	31	32	30	27	25	25	22	22	22	20	20	20	32	3.94	
7-6-82	22	20	20	20	20	20	20	20	22	26	28	30	31	34	33	29	28	27	26	25	24	22	22	21	20	24.28	4.61	
8-6-82	20	20	20	20	20	20	20	22	24	25	27	28	30	31	30	29	27	25	24	22	21	20	20	31	20	23.76	3.99	
9-6-82	20	20	20	20	20	20	20	20	22	24	26	27	27	26	26	26	25	25	24	23	22	21	20	20	27	22.28	2.61	29
10-6-82	20	20	20	20	20	20	20	24	25	27	30	31	33	34	31	33	28	26	25	24	23	22	20	34	24.7	23.7	4.86	

Temperatura °C

FECHA
D-M-A
Hora:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	MIN	MAX	PROM.		
25-7-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	20	25	27	28	30	30	30	29	26	25	24	23	21	20	20	18	30	22.4	4.51
26-7-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	20	23	26	28	29	30	30	30	28	25	24	23	22	20	20	18	31	22.9	3.9
27-7-82	20	19	18	18	18	18	18	18	19	20	25	25	27	27	27	27	27	27	25	24	23	22	21	20	18	28	22.1	3.6
28-7-82	20	20	20	19	18	18	18	18	20	21	22	24	26	25	25	25	27	25	25	24	23	22	21	20	18	27	21.8	2.78
29-7-82	20	20	20	19	18	18	18	20	21	26	28	30	32	30	30	28	27	24	23	22	20	20	20	20	18	32	22.8	4.57
30-7-82	20	19	18	18	18	18	18	18	21	26	27	27	29	31	29	28	31	29	28	27	25	24	23	23	18	31	22.7	4.25
31-7-82	20	18	18	18	18	18	18	20	21	25	27	28	30	30	30	30	28	25	24	23	21	20	20	20	18	30	22.7	4.51
1-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	23	26	28	29	30	30	31	31	27	25	23	22	21	20	20	18	30	23.12	5.05
2-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	21	25	27	27	28	29	31	30	28	25	23	22	21	20	20	18	32.5	22.4	4.45
3-8-82	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	23	25	27	29	29	29	27	24	22	21	20	20	20	20	18	29	22.1	4.02
4-8-82	20	19	19	19	19	19	19	19	20	20	23	25	27	27	28	28	27	26	25	24	23	21	20	19	18.5	28.5	22.06	3.58
5-8-82	19	18	18	18	18	18	18	18	20	23	26	27	29	31	32	30	28	25	24	22	20	20	20	20	18	32	22.8	5.03
6-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	20	21	25	27	28	31	28	27	26	25	24	23	22	21	20	18	32	22.0	4.02
7-8-82	20	19	19	18	18	18	18	18	20	21	24	25	25	25	25	27	25	23	22	21	20	20	19	18	18	25	21.02	2.96
8-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	20	22	24	28	29	30	30	30	29	25	24	23	22	21	20	18	30	22.84	4.70
9-8-82	20	20	19	18	18	18	18	20	20	21	23	25	27	30	32	32	30	28	27	25	23	22	20	20	18	32	22.94	4.7
10-8-82	20	19	18	18	18	18	18	19	20	25	27	28	28	28	28	26	24	23	22	21	20	19	20	18	28	22.08	3.97	
11-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	21	25	26	27	29	32	30	28	27	25	23	22	20	19	18	18	32	22.16	4.61
12-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	21	23	26	27	27	27	27	26	24	23	23	23	22	20	19	19	18	28	20.78	5.11
13-8-82	18	18	18	18	18	18	18	29	22	23	27	30	31	30	28	25	23	22	20	20	21	18	18	18	18	32	22.	4.51
14-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	28	22	26	27	28	28	32	30	28	24	23	20	19	19	18	18	18	32	21.76	4.64
15-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	18	20	23	25	26	27	27	25	24	22	20	19	18	18	18	18	18	27	21.14	3.71
16-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	18	20	26	29	30	32	30	30	29	28	26	23	21	20	19	18	18	32	22	3.87

FECHA

D-M-A

Hora:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	MIN	MAX	PROM.			
24-8-82									21	22	24	26	28	29	30	28	27	25	23	22	20	20	18	18	30				
25-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	18	20	21	25	26	27	28	27	26	27	28	27	26	24	22	21	19	18	28	21.3	3.79
26-8-82	18	18	18	18	18	18	18	18	20	21	25	26	27	28	28	27	26	24	22	21	20	19	19	28	28	28	21.8	4.12	
27-8-82	18	18	18	18	18	18	18	19	22	25	27	29	30	32	33	34	32	33	34	32	30	28	27	25	23	21	20	24.1	5.64
28-8-82	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	22	24	24	25	25	25	25	23	23	21	21	20	20	20	20	20	20	21.58	2.23
29-8-82	20	20	20	20	20	20	20	20	22	26	27	28	30	30	31	31	28	25	23	20	20	20	20	31	20	20	23.0	23.01	4.36
30-8-82	20	20	20	19	19	19	19	19	20	20	22	23	25	27	27	28	27	28	27	26	24	23	22	20	20	19	28	21.8	3.18
1-9-82	18	18	18	18	18	18	18	18	29	29	23	25	27	28	30	29	27	26	24	22	20	20	20	19	18	33	22.08	4.38	
2-9-82	18	18	18	18	18	18	18	20	24	25	26	27	28	30	32	33	31	29	27	25	24	23	21	18	33	33	23.3	5.10	
3-9-82	20	19	18	18	18	18	18	20	22	26	28	29	30	30	28	26	25	23	21	20	19	19	18	18	31	22.9	23.0	4.71	
4-9-82	18	18	18	18	18	18	19	20	21	23	26	26	26	30	30	29	28	25	23	22									

TABLA A-3

MEDICIONES DIARIAS DE PARAMETROS PARA EL DIGESTOR CON LA MEZCLA DE ARVEJITAS Y HABAS SERRANAS 90.5 % HUMEDAD(9.5%ST) Y 3.75 KG DE S.T.

FECHA	PRESION (cm. agua)	PROD. DIARIA (Litros)	PROD. TOTAL (Litros)	PROD. TOTAL Litros/Kg.S.T.
21-6-82	6	15.4	15.4	3.42
22-6-82	6	11.55	26.95	5.99
23-6-82	6	11.27	38.22	8.49
24-6-82	7	14.02	52.25	11.61
25-6-82	7	5.5	57.75	12.83
26-6-82	7	9.35	67.10	14.91
27-6-82	8	7.97	75.07	16.68
28-6-82	8	16.44	91.52	18.12
29-6-82	8	20.35	111.87	24.86
30-6-82	8	12.1	123.97	27.55
1-7-82	8	13.47	137.44	30.54
2-7-82	7.5	11.27	148.71	33.05
3-7-82	7	10.72	159.43	35.43
4-7-82	7	10.74	170.17	37.82
5-7-82	7	11.12	181.29	40.29
6-7-82	7	5.99	187.28	41.62
7-7-82	6	9.07	196.35	43.63
8-7-82	6	5.5	201.85	44.86
9-7-82	6	8.52	210.38	46.75
10-7-82	6	15.67	226.05	50.23
11-7-82	6	15.67	226.05	50.23
12-7-82	6	16.25	242.28	53.84
13-7-82	6	11	253.28	56.28
14-7-82	6	11	264.28	58.73
15-7-82	6	10.73	275.01	61.11
16-7-82	6	8.22	283.23	62.34
17-7-82	6	11	294.23	65.38
18-7-82	6	22.8	317.03	70.45
19-7-82	6	15.12	332.15	73.81
20-7-82	6	8.52	340.67	75.70
21-7-82	6	6.04	346.71	77.05
22-7-82	6	1.67	348.38	77.42
23-7-82	7	16.5	364.88	81.08
24-7-82	6	12.1	376.98	83.77
25-7-82	6	11.27	388.25	86.28
26-7-82	6	9.35	397.6	88.36
27-7-82	6	9.9	407.5	90.56
28-7-82	6	6.31	413.81	91.96
29-7-82	6	12.1	425.91	94.65
30-7-82	6	11.55	437.46	97.21
31-7-82	6	9.62	447.08	99.35

FECHA	PRESION (cm.agua)	PROD.DIARIA (litros)	PROD. TOTAL (litros)	PROD. TOTAL Litros/Kg.ST.
1-8-82	6	11.81	458.89	101.98
2-8-82	6	11.55	470.44	104.54
3-8-82	6	11.81	483.35	107.41
4-8-82	6	11.55	494.90	109.98
5-8-82	6	11.55	506.71	112.60
6-8-82	6	12.1	518.26	115.17
7-8-82	6	12.65	529.81	117.74
8-8-82	6	12.65	541.9	120.42
9-8-82	6	12.65	554.56	123.24
10-8-82	6	22.0	567.21	126.05
11-8-82	6	12.65	579.86	128.86
12-8-82	7	11.55	601.86	133.75
13-8-82	5	10.46	614.51	136.56
14-8-82	6	10.46	626.06	139.13
15-8-82	5	18.7	636.52	141.45
16-8-82	5	19.25	646.98	143.77
17-8-82	6	18.7	665.68	147.93
18-8-82	6	23.10	684.93	152.21
19-8-82	6	20.07	703.63	156.36
20-8-82	6	20.35	726.73	161.50
21-8-82	6	19.52	746.8	165.96
22-8-82	6	18.95	767.15	170.48
23-8-82	6	15.94	786.67	174.82
24-8-82	6	18.95	805.62	179.03
25-8-82	6	15.94	821.56	182.57
26-8-82	6	14.58	840.51	186.78
27-8-82	6	22.	856.45	190.32
28-8-82	6	10.46	871.03	193.56
29-8-82	6	12.65	893.03	198.45
30-8-82	6	9.9	903.49	200.76
31-8-82	6	15.94	916.14	203.59
1-9-82	7	11.0	926.04	205.79
2-9-82	7	8.8	941.98	209.33
3-9-82	7	7.15	952.98	211.77
4-9-82	6	8.25	961.78	213.13
5-9-82	7	10.72	968.93	215.32
6-9-82	7	6.31	977.18	217.15
7-9-82	6	8.24	987.9	219.53
8-9-82	6	6.31	994.21	220.94

TABLA A-4

VALORES DIARIOS DE PARAMETROS PARA EL MINID. CON CASCARAS DE HABAS SERRANAS:
91.8 % HUMEDAD (8.2% S.T.) Y 4.9 Kg. DE S.T.

FECHA	PRESION	PRODUCCION DIARIA Lt.	PRODUCCION TOTAL Lt.	PRODUCCION TOTAL Lt/KgST	% METANO
21-7-82	5	12.65	12.65	2.58	
22-7-82	5	9.07	21.72	4.43	
23-7-82	5	3.85	25.57	5.22	
24-7-82	5	6.04	31.61	6.45	
25-7-82	5	7.42	39.03	7.97	
26-7-82	5	2.75	41.78	8.53	
27-7-82	5	7.15	48.93	9.99	
28-7-82	5	8.8	57.73	11.78	
29-7-82	5	4.4	62.13	12.68	
30-7-82	5	8.8	70.93	14.48	
31-7-82	5	12.91	83.84	17.11	
1-8-82	5	9.9	93.74	19.13	
2-8-82	5	6.6	100.34	20.48	
3-8-82	5	9.35	109.69	22.39	
4-8-82	5	10.46	120.15	24.52	
5-8-82	5	12.38	132.53	27.05	
6-8-82	5	10.18	142.71	29.12	
7-8-82	5	10.72	153.43	31.31	
8-8-82	5	10.72	164.15	33.50	
9-8-82	5	10.72	174.87	35.69	
10-8-82	5	10.72	185.59	37.88	
11-8-82	5	10.72	196.31	40.06	
12-8-82	5	11.27	207.58	42.36	
13-8-82	5	11.0	218.58	44.61	
14-8-82	5	8.52	227.1	46.35	
15-8-82	5	9.07	236.17	48.20	
16-8-82	5	9.07	245.24	50.05	
17-8-82	5	9.62	254.86	52.01	
18-8-82	5	9.07	263.93	53.86	
19-8-82	5	6.31	270.24	55.15	
20-8-82	5	11.27	281.51	57.45	
21-8-82	6	12.38	293.89	59.98	
22-8-82	6	17.32	311.21	63.51	
23-8-82	6	12.1	323.31	65.98	
24-8-82	6	11.55	334.86	68.34	
25-8-82	6	12.65	347.51	70.92	
26-8-82	6	9.9	357.41	72.94	
27-8-82	6	9.62	367.03	74.90	
28-8-82	6	8.52	375.55	76.64	
29-8-82	6	8.52	384.07	78.38	
30-8-82	6	9.62	403.87	82.42	
31-8-82	6	9.62	413.49	84.39	
1-9-82	6	9.62	413.49	84.39	

TABLA A-5

RESULTADOS DE PARAMETROS MEDIDOS EN EL MINID. CON ESTIERCOL DE GANADO VACUNO
89.64 % HUMEDAD (10.36% S.T.) y 7.31 Kg.S.T.

FECHA	PRESION (cm-agua)	PRODUCCION DIARIA (Litros)	PRODUCCION TOTAL (Litros)	PRODUCCION TOTAL (Lt/ Kg.S.T.)	% METANO (Volumen)
25-5-82	2				
17-6-82	5	2.47	2.47	0.31	
18-6-82	5	1.38	3.85	0.49	
19-6-82	4	4.4	8.25	1.05	
20-6-82	4	1.1	9.35	1.19	
21-6-82	6.5	4.4	13.75	1.76	
22-6-82	6	0.55	14.30	1.83	
23-6-82	7	6.6	20.9	2.67	
24-6-82	5	4.4	25.3	3.23	
25-6-82	6	7.5	32.49	4.16	
26-6-82	5	3.02	35.47	4.54	
27-6-82	7	3.85	39.32	5.03	
28-6-82	7	0.55	39.87	5.10	
29-6-82	7	3.3	43.17	5.52	
30-6-82	7	2.75	45.92	5.87	
1-7-82	5.5	2.47	48.39	6.19	59
2-7-82	5	1.37	49.76	6.37	
3-7-82	5	2.09	51.86	6.64	
4-7-82	5	2.64	54.49	6.97	
5-7-82	5	1.64	56.13	7.18	
6-7-82	5	4.94	61.07	7.81	
7-7-82	5	2.2	63.27	8.1	
8-7-82	5	3.68	66.95	3.57	
9-7-82	5	2.80	69.75	3.93	
10-7-82	5	1.21	70.96	9.08	
11-7-82	5	3.85	74.81	9.57	
12-7-82	5	3.85	78.66	10.07	
13-7-82	5	2.2	80.86	10.35	
14-7-82	5	4.12	84.98	10.88	
15-7-82	5	3.85	88.83	11.37	
16-7-82	5	2.47	91.30	11.69	
17-7-82	5	3.3	94.60	12.11	
18-7-82	5	1.92	96.52	12.35	
19-7-82	5	3.02	99.54	12.74	
20-7-82	5	1.65	101.19	12.95	
21-7-82	5	1.92	103.11	13.20	

TABLA A-6

RESULTADOS DE PARAMETROS MEDIDOS EN EL MINIDIGESTOR CON TAMO DE ARROZ:
79.7% HUMEDAD (20.3 % S.T.) Y 5.22 Kg. S.T.

FECHA	PRESION (cm-agua)	PRODUCCION DIARIA (Litros)	PRODUCCION TOTAL (Litros)	PRODUCCION TOTAL (Lt/KgS.T)	% METANO (VOLUMEN)
Del 20 al 31 -5-82	5				
Del 1 al 3 - 5-82	6				
10-6-82	5	0.55	0.55	0.10	
11-6-82	5	0.0	0.55	0.10	
Del 11 al 16-6-82	5	0.0	0.55	0.10	
17-6-82	2	1.37	1.92	0.36	
18-6-82	2	0.27	2.19	0.41	
19-6-82	5	2.75*	4.94	0.95	
20-6-82	3	0.55	5.49	1.05	
Del 21 al 24-6-82	6	0.0	5.49	1.05	
25-6-82	6	1.1	6.59	1.26	
26-6-82	3	0.82	7.41	1.41	
27-6-82	3	1.1	8.51	1.63	
28-6-82	2	1.37	9.88	1.89	60
29-6-82	3	0.0	9.88	1.89	
30-6-82	3	0.27	10.86	2.09	
Del 1 al 31-7-82	5	0.	10.86	2.08	

TABLA A-7

RESULTADOS DE PARAMETROS MEDIDOS EN MINID. CON CISCO DE CAFE QUE 77.0%
HUMEDAD (23% S.T.) Y 12.28 Kg. DE S.T.

FECHA	PRESION (cm.AGUA)	PRODUCCION DIARIA (Lt.)	PRODUCCION TOTAL (Lt.)	PRODUCCION TOTAL (Lt./Kg.S.T)	% METANO (VOLUMEN)
18-6-82	4.5	3.85	3.85	0.45	
19-6-82	10	6.89	10.72	1.25	
20-6-82	8	0.82	11.54	1.35	
21-6-82	10	6.6	18.15	2.13	
22-6-82	7	3.85	22.0	2.58	
23-6-82	9	7.15	29.15	3.42	
24-6-82	12	8.8	37.95	4.45	
25-6-82	8	23.65*	61.60	7.23	
26-6-82	5	7.15	68.75	8.06	
27-6-82	5	1.65	70.40	8.26	
28-6-82	7	2.47	72.87	8.55	
29-6-82	7	5.22	78.09	9.16	
30-6-82	7	10.17	88.26	10.35	
1-7-82	7	9.07	97.33	11.42	
2-7-82	7	7.81	105.14	12.34	
3-7-82	5	4.67	109.81	12.88	
4-7-82	5	9.07	119.87	14.06	
5-7-82	6	0.38	120.25	14.11	
6-7-82	6	5.11	125.39	14.71	60
7-7-82	6	7.42	132.79	15.58	267% CO ₂
8-7-82	7	4.89	137.68	16.15	
9-7-82	7	4.12	141.80	16.64	
Del 9 al 22-7-82		0.0	141.80	16.64	
22-7-82	7	1.00	142.28	16.69	
Del 23 al 24-7-82		0.0	142.28	16.69	
25-7-82	5	0.27	142.62	16.73	
26-7-82	5	1.92	144.54	16.96	
27-7-82	5	0.27	144.81	16.99	

28-7-82	5	0.27	145.08	17.02
29-7-82	5	1.1	146.18	17.15
30-7-82	6	0.82	147.0	17.25
31-7-82	7	2.47	149.47	17.54
1-8-82	7	0.	149.47	17.54
2-8-82	6	3.3	152.77	17.93
3-8-82	7	2.75	155.52	18.25
4-8-82	6	3.85	159.37	18.70
5-8-82	6	2.47	161.84	18.99
6-8-82	5	3.3	165.14	19.38
7-8-82	6	2.47	167.64	19.67
8-8-82	5	1.37	168.98	19.83
9-8-82	5	2.2	171.18	20.09
10-8-82	5	3.02	174.20	20.44
11-8-82	5	0.55	174.75	20.51
12-8-82	5	0.66	175.41	20.58
13-8-82	5	2.91	178.32	20.72
14-8-82	5	1.37	179.69	21.09
15-8-82	5	3.02	182.71	21.44
16-8-82	7	2.47	185.18	21.73
17-8-82	7	2.75	187.93	22.05
18-8-82	6	1.1	189.03	22.18
19-8-82	5	2.2	191.23	22.44
20-8-82	7	1.65	192.88	22.63
21-8-82	7	1.92	194.8	22.86
22-8-82	7	1.1	195.9	22.9
23-8-82	7	1.1	197.0	23.12
24-8-82	7	1.65	198.65	23.31
25-8-82	7	1.92	200.59	23.54
26-8-82	6	0.82	201.39	23.63
27-8-81	6	1.92	203.31	23.86
28-8-82	6	0.55	203.86	23.92
29-8-82	6	1.92	205.75	24.14
30-8-82	6	0.82	206.6	24.24
31-8-82	6	1.1	207.7	24.37

TABLA A-8

RESULTADOS DE MEDICIONES DE PARAMETROS EN MINIDIGESTOR CON CISCO DE CAFE APROXI.AL INICIO CON 61.2 % HUMEDAD (38.8 % S.T) Y 13.2 Kg. S.T.

FECHA	PRESION (cm. agua)	PRODUCCION DIARIA (Lt.)	PRODUCCION TOTAL (LT.)	PRODUCCION TOTAL (Lt./Kg.ST)	% METANO (VOLUMEN)
22-6-82	5	3.85	3.85	0.29	
23-6-82	5	4.4	8.25	0.62	
24-6-82	5	4.4	12.65	0.95	
25-6-82	5	3.57	16.22	1.22	
26-6-82	5	3.02	19.24	1.45	
27-6-82	4	1.65	20.85	1.57	
28-6-82	5	0.55	21.44	1.62	
29-6-82	5	0.55	21.99	1.66	
30-6-82	5	0.27	22.26	1.68	
1-7-82	5	0.82	23.08	1.74	
2-7-82	5	1.37	24.45	1.85	
3-7-82	5	0.38	24.83	1.88	
4-7-82	5	0.0	24.83	1.88	
5-7-82	5	0.0	24.83	1.88	
6-7-82	5	1.32	26.15	1.98	
7-7-82	5	0.49	26.64	2.01	
8-7-82	5	0.49	28.01	2.12	
9-7-82	5	0.77	28.78	2.18	
10-7-82	5	1.65	38.71	2.93	
11-7-82	5	0.55	39.26	2.97	
12-7-82	6	0.0	39.26	2.97	
13-7-82	6	0.0	39.26	2.97	
14-7-82	6	0.55	39.81	3.01	
15-7-82	6	1.65	41.46	3.14	
16-7-82	6	6.6	48.06	3.64	
17-7-82	6	9.35	57.41	4.34	
18-7-82	6	11.0	68.41	5.18	
19-7-82	6	4.68	73.09	5.53	
20-7-82	6	12.91	86.00	6.51	

continuación Tabla A-8

21-7-82	6	0.55	39.26	2.97
22-7-82	6	0.0	39.26	2.97
23-7-82	6	0.0	39.26	2.97
24-7-82	6	0.55	39.81	3.01
25-7-82	5	1.65	41.46	3.14
26-7-82	5	1.65	41.46	3.14
27-7-82	5	6.6	48.06	3.64
28-7-82	5	9.35	57.41	4.34
29-7-82	5	11.0	68.41	5.18
30-7-82	5	4.68	73.09	5.55
31-7-82	5	12.91	86.00	6.51
1-8-82	5	11.00	110.16	8.34
2-8-82	6	10.72	120.88	9.15
3-8-82	5	9.62	130.50	9.88
4-8-82	5	7.70	138.20	10.46
5-8-82	5	8.25	146.45	11.09
6-8-82	5	6.04	152.49	11.55
7-8-82	5	7.15	159.64	12.09
8-8-82	5	5.5	165.14	12.51
9-8-82	6	7.15	172.29	13.05
10-8-82	6	7.7	179.99	13.63
11-8-82	5	4.4	184.39	13.36
12-8-82	5	4.13	188.52	14.28
13-8-82	7	6.6	195.12	14.78
14-8-82	5	6.31	201.43	15.25
15-8-82	5	4.13	205.56	15.57
16-8-82	5	6.04	211.60	16.03
17-8-82	5	4.95	216.55	16.40
18-8-82	5	3.85	220.40	16.69
19-8-82	5	4.27	224.67	17.02
20-8-82	5	0.82	225.49	17.08
21-8-82	5	2.75	228.24	17.29
22-8-82	5	3.30	231.54	17.54

TABLA A-9

POTENCIAL DE PRODUCCION ENERGETICA A PARTIR DEL ESTIERCOL DE GANADO EN ECUADOR ELABORADO POR DR. ALFREDO BARRIGA.

GANADO	POBLACION	POTENCIA TOTAL Millón m ³ /año	POTENCIA ENERGIA BEP/AÑO*
Vacuno	1'900.000	424.1	1'366.800
Caballar	230.000	65.9	212.750
Porcino	1'200.000	187.2	604.800
Ovino	1'700.000	206.7	668.100
Carpino	160.000	19.5	62.880
Avicola	5'000.000	11.5	37.000
		914.9 millón m ³	2' 952.330 BEP

* SE TOMA UN PODER CALORIFICO DE 20424 KJ/m³ BIOGAS, APROXIMADAMENTE 302 m³ BIOGAS POR BEP.

Tomado de (4).-

TABLA A-10

GENERACION DE BIOGAS Y CONTENIDO ENERGETICO PARA ESTIERCOL ANIMAL (TOMADO DEL BOLETIN ENERGETICO DE OLADE, N° 14, 1980.

GANADO	POBLACION	ESTIERCOL		BIOGAS		ENERGIA ANUAL	
		Kg/DIA	KG/AÑO	M ³ /DIA	M ³ /AÑO	KCAL	BEP**
VACUNO	1'900.000	16.4	6.000	0.610	223.2	1'063.994	0.720
EQUINO	230.000	13.7	5.000	0.780	286.2	1'365.745	0.925
PORCINO	1'200.000	8.2	3.000	0.427	156	743.652	0.504
OVINO	1'700.000	2.2	800	0.333	121.6	579.667	0.393
CAPRINO	160.000	2.2	800	0.333	121.6	579.667	0.393
AVICOLA	5'000.000*	0.068	25	0.0063	2.3	10.964	0.0074

* Datos recientes ubica esta población en 22 millones

** Conversión : 1 BEP: 1.4750 x 10⁶ K Cal

BEP: Barril Equivalente de Petróleo.

(Tomado de (4)

TABLA A-11
ANALISIS DE EFLUENTES Y ESTIERCOL VACUNO

ANALISIS DE ESTIERCOL FRESCO DE VACUNO

S.T.	N...	N-NH ₄	C	P ₂ O ₅	K ₂ O
%	%	%	%	%	%
21,80	1.68	0.47	38.20	2.23	4.03

ANALISIS DE LODO (BIO ABONO SLURRY)

S.T.	N.t.	N-H ₄	C	P ₂ O ₅	K ₂ O
%	%	%	%	%	%
78%	2.82	1.21	44.00	2.86	3.21

Aa. Carga del digestor = residuo de alimentos de conejos (rye gras+ alfalda) + estiércol de vacuno.

ANALISIS DE EFLUENTE (BIO-ABONO SLUDGE)

Nº aplicaciones	N.t. %	N-H ₄ %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
1	3.41	2.39	3.12	4.39
2	3.25	2.21	3.81	5.42
3	3.64	2.55	3.22	4.33
4	3.15	2.21	3.82	5.25
5	3.51	2.32	4.01	5.06
6	3.80	2.49	3.28	5.86

2da. carga del digestor = paja de trigo estiércol de vacuno.

Tomado de Ing. Genaro Carrión Ballena, ITINTEC Proyecto 3329
Lima - Perú 1981

TABLA A.12

PRODUCCION DE ALGUNOS PRODUCTOS AGRICOLAS EN EL ECUADOR

AÑO	NOMBRE DEL PRODUCTO	PRODUCCION (MILES TON R.F/AÑO)	FACTOR DESPERDICIO	RESIDUOS AGRICOLAS. (MILES TON/AÑO)
1980	BANANO	2375	0.8	1900
1981	BANANO	2275		1820
1980	ARROZ	310	0.7	217
1981	ARROZ	378		254.6
1980	CAÑA DE AZUCAR	3850	0.13	500
1980	CENTENO	1	1.3	1.3
1980	SOYA	40	1.6	64.
1980	CAFE	90	0.5	45.
1981	CAFE	88		44
1982*	MAIZ	272.7	0.8	218.1
1980	REMOLACHA	1	0.13	0.13
1981	REMOLACHA	2		0.26
1980	GUISANTES	7	0.60	4.20

*Sólo Primer Semestre. Fuente Diario El Universo Nov/82, Almanaque Mundial 1982,83.-
 RF:= _Residuos Frescos.

TABLA A-13

POTENCIAL DE PRODUCCION ANUAL DE BIOGAS A PARTIR DE ALGUNOS RESIDUOS AGRICOLAS

ANO	NOMBRE PRODUCTO	RESIDUOS AGRICOLAS (MILES TON/AÑO)	PROD. BIOGAS (10 ⁶ m ³ /año)	MILES (BEP/año)	EQUIVALENTE EN LPG (TON LPG / AÑO)
1980	BANANO	1900	77.9	258.8	33381.8
1981	BANANO	1820	74.62	247.9	31976.3
1980	ARROZ	217	41.23	137.0	17670.
1980	ARROZ	255	48.45	161.0	20761.9
1980	CENTENO	1.3	0.24	0.8	102.8
1980	CAFE*	45.0	4.5	15.0	1928.3
1981	CAFE*	44.0	4.4	14.6	1885.5
1982	MAIZ**	218.0	41.42	137.6	17749.4
TOTAL			172.5 x 10 ⁶ m ³ /año	548.4 MILES BEP.	70832.3 TON LPG/AÑO

1 barril equivalente de petróleo = 301 m³ BIOGAS = 1.47 x 10⁶ K CAL.

1 tonelada métrica LPG=1.14x10⁶ K CAL = 2333.6 m³ BIOGAS

1 m³ BIOGAS = 4885 K CAL.

* Se utiliza pulpa de café fresca y OLADE (10) establece una producción a 35°C y con 19% S.T.

** Solo para el primer semestre

Estos datos son sólo para estos productos

TABLA A-14

MESES	TEMPERATURA PROMEDIO °C				TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA DE GUAYAQUIL				TEMPERATURA PROMEDIO °C				TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA °C			
	1979	1980	1981	1982	1979	1980	1981	1982	1979	1980	1981	1982	1979	1980	1981	1982
ENERO	26.5	25.2	25.47	21.91	21.9	18	21	32.6	32.16	34.7	37	35				
FEBRERO	27.2	24.4	25.67	23.65	22.6	20	21	30.9	30.65	34.9	35	35				
MARZO	27.4	25.3	26.30	22.48	22.5	20	21	32.3	33.9	34.4	35	37				
ABRIL	27.1	29.17	25.2	21.57	22.0	23	21	37	31.9	32.46	35	36	40			
MAYO	26.7	28.55	24.1	20.23	20.2	25	19	35	30.6	31.5	34	35	39			
JUNIO	25.6	27.62	22.6	19.92	20.8	23	18	34	28.7	30.03	34	35	37			
JULIO	23.8	26.95	22.8	18.95	19.3	21	17	34.9	29.7	29.43	35	33	37			
AGOSTO	24.3	26.35	21.65	18.14	19.1	22	17	34.1	29.3	29.86	32	35	37			
SEPTBRE	25.1	26.97	22.47	19.54	20.5	22	17	35.1	30.8	31.29	35	34	39			
OCTBRE	25.2	27.4	22.72	20.0	20.5	23	17	34.5	30	30.53	33	35	39			
NOVBRE	25.0	25	23.4	20.4	20.4	19	20	33	30.8	34.4	34	35	37			
DCBRE	26.2	24.12	24.95	21.0	20.8	18	18	31.4	32.1	35.2	36					

* Los datos fueron tomados del anuario meteorológico, los demás del Laboratorio de Energía Solar de la ESPOL.

TABLA A.15

PODER CALORIFICO DEL BIOGAS CON RESPECTO A OTROS COMBUSTIBLE Y CONSUMO PARA UNA

FAMILIA DE 5 MIEMBROS

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO		Ef.CALORIFICO		P.C.Ef. KCal/kg OLADE	P.C.RELATIVO (BIOGAS-1.0)	CONSUMO Familia/dia INE
	K Cal/Kg.		20 OLADE	INE			
LEÑA	3.300		17.3	5	571	0.18	12.6 Kg.
KEROSENE	10.987		48	15	5274	1.6	1.557 Litros
LPG	11.860		60	20	7110	2.28	0.877 Kg.
BIOGAS	6.920		45	15	3114	1.0	2.56m ³ *

P.C. = Poder calorífico

E.f. = Efectivo

* En OLADE (15) establecen que es 1 m³ otros autores establecen entre 1.2-1.4 m³.
Adaptado de INE. Ing. Eduardo Yáñez "Bioabono-Gas estudio técnico y socio-económico" Agosto/82
Quito - Ecuador; OLADE (15).

FIGURA A-1

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA DE GUAYAQUIL, AÑOS 1979.
1980. 1981.

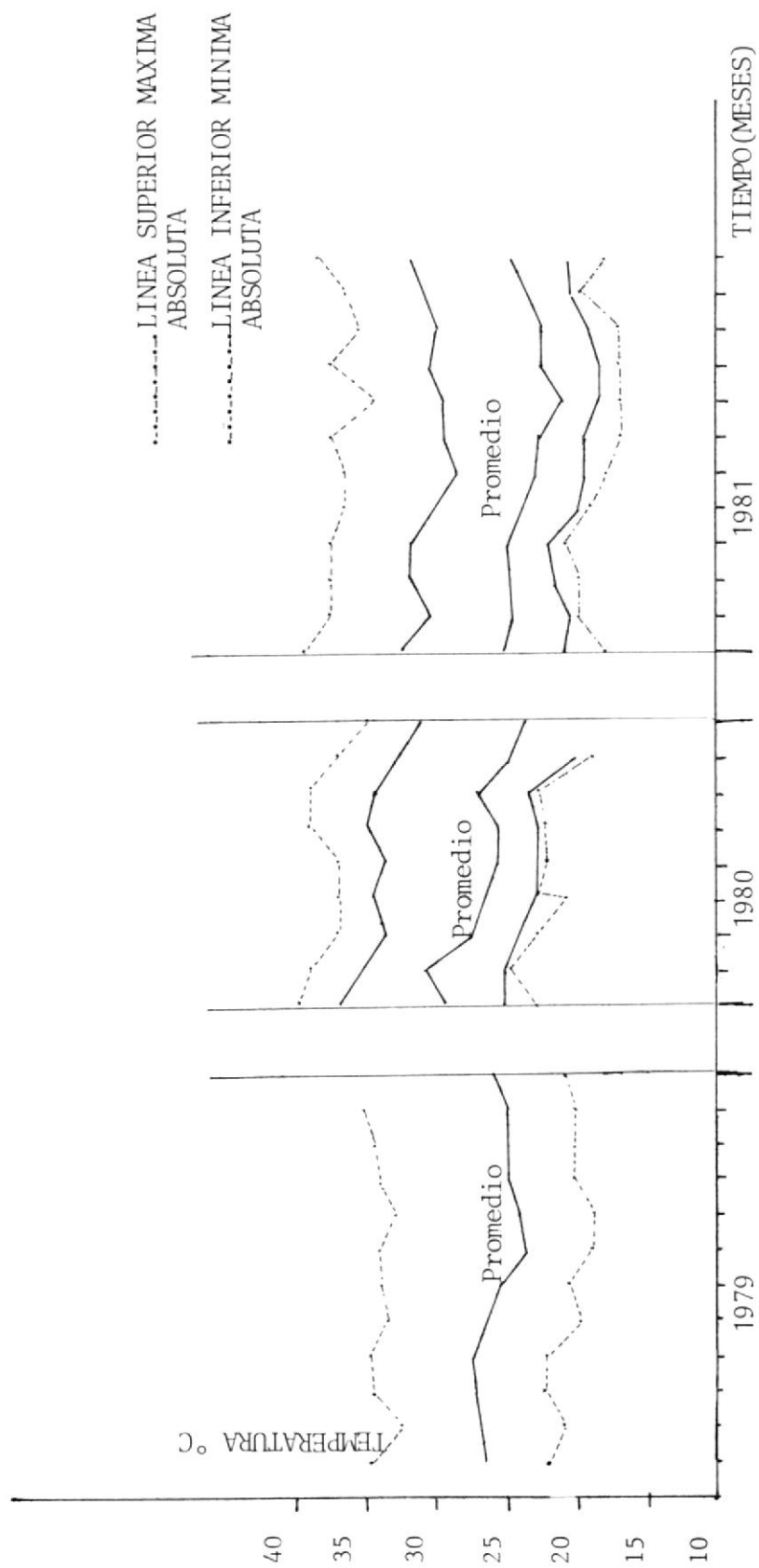


FIGURA A-2

TEMPERATURA INTERNA DE MINIDIGESTORES, TEMPERATURA AMBIENTAL VS TIEMPO (PARA EL DIA 31-10-82)

— TEMPERATURA INTERNA MINIDIGESTORES
..... TEMPERATURA AMBIENTE PARA ESTE DIA

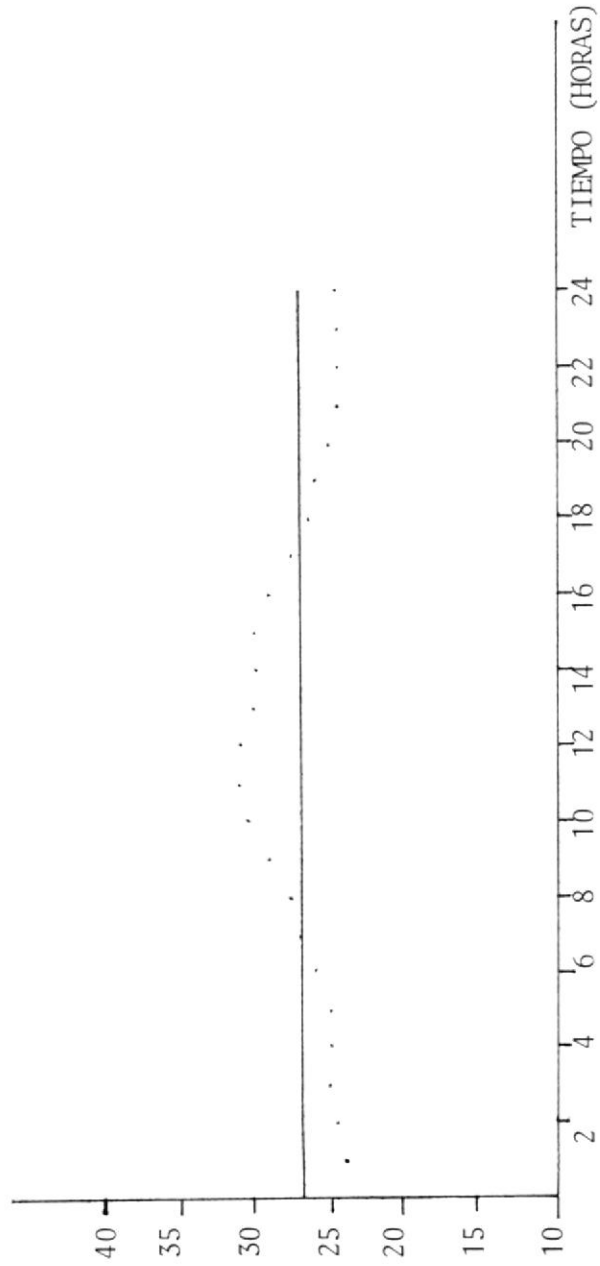


TABLA B-1

COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE BIOGAS DE 10 m³

MATERIAL MAMPOSTERIA	#UNID.	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
Ladrillos (20x40x7cm)	1.300	S/. 4,00	S/. 5.200,00
Piedra bola	1 m ³	100,00	" 100,00
Cemento	30(50Kg)	125,00	" 3.750,00
Arena	3	160,00	" 450,00
Bloques	25	9,00	" 225,00
Ripio	1	150	" 150,00
Tubo pvc 4"	6 m.	112,00	" 672,00
SUBTOTAL:			S/. 10.547,00 =====
<u>MATERIAL GASOMETRO (METALICO)</u>			
Planchas 5 mm.	6, 1.2x24	3.050,00	S/. 18.300,00
Soldadura 6018	22 Lb. 1/8"	52,00	" 1.144,00
SUBTOTAL:			S/. 19.444,00 =====
<u>LINEA DE GAS</u>			
-Griferia			S/. 3.000,00
- Tubos			" 3.000,00
			S/. 6.000,00 =====
Varios-----			S/. 2.000,00
Transporte -----			" 2.000,00
SUB TOTAL:			S/. 4.000,00

TOTAL: S/. 39.991,00, es decir S/. 40000,00

TABLA B-2

TABLA PARA COMPUTO DEL FACTOR INCREMENTO DE UN PARAMETRO AL PASO DE LOS AÑOS

t(años)	C = (1+ i) ^t		
	I=10	I = 12	I = 18
0	1	1	1
1	1.1	1.12	1.18
2	1.21	1.25	1.39
3	1.33	1.40	1.64
4	1.46	1.57	1.93
5	1.61	1.76	2.28
6	1.77	1.97	2.65
7	1.94	2.21	3.18
8	2.14	2.47	3.75
9	2.35	2.77	4.43
10	2.59	3.10	5.23
11	2.85	3.47	6.17
12	3.13	3.89	7.28
13	3.45	4.36	8.59
14	3.79	4.88	10.14
15	4.17	5.47	11.97
TOTAL:	35.89	42.69	71.81
PROMEDIO:	2.24	2.66	4.79

Se computa \$/. 30,00/Hr. hombre en 1982 y para corregir los valores para proyecciones futuras, se multiplica por el factor correspondiente; pero es una buena aproximación multiplicar por el factor promedio de los 15 años.

TABLA B-3

DISTRIBUCION DE LAS HORAS HOMBRE EN LA CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR DE 10 m^3 DE CAMARA (4 m^3 PRODUCCION DIARIA).

TIPO DE TRABAJO	HORAS-HOMBRE	FACTOR PONDERACION	COSTO S/.
<u>DIGESTOR</u>			
Excavación cavidad del digestor	80	1	2.400
Albañileria para el digestor	160	2	9.600
<u>GASOMETRO</u>			
Fabricación	50	(3)	4.500
<u>GRIFERIA</u>			
Acoples de manguera, uniones, codos, etc.	10	(3)	900
TOTAL:	300		S/.17.400

....

TABLA B-4

ANALISIS DE COSTO DE UNA PLANTA DE BIOGAS DE 10 m³ DE CAMARA

COSTOS DE IMPLANTAR EL SISTEMA	HORA-HOMBRE	COSTOS (S/.)
Costo de materiales		S/. 40.000,00
Mano de obra	300	<u>17.400,00</u>
	TOTAL COSTO:	S/. 57.400,00
	(redondeando)	S/. 58.000,00
<u>Costo de Operación Anual</u> (Se utilizó factor promedio Tabla B-2).		=====
Mano de Obra	120	8.040,00
Gastos de material.		<u>1.500,00</u>
	COSTO OPERACION TOTAL:	<u>S/. 9.540,00</u>
<u>BENEFICIOS PRIMER AÑO</u>		
<u>Energía</u>		
1200 m ³ BIOGAS=514 Kg LPG=36.78 Bombona LPG		
Costo Bombona 14 Kg LPG= S/. 147,00		
Precio Biogas comparado al primer año		S/. 5.406,60
<u>PRODUCCION DE BIOABONO**</u>		
Costo de 46 Kg. de Abono = S/.150,00		
Costo del bioabono comparado con el anterior		<u>" 24.456.25</u>
	SUBTOTAL:	<u>S/. 29.863,12</u>

OTROS BENEFICIOS

- Control de desforestación si es que usa leña en lugar de LPG
- Disminución de contaminación
- Descentralización de energía y fertilizantes
- Eliminación del pozo ciego
- Generación de trabajo social(50 % de lo ejecutado en la mano de obra).

*El interés se supone que es otorgado por alguna institución sin lucro, en caso contrario debe ser por lo menos 16 %.

** El abono que se vende en el mercado es un proceso aeróbico es de inferior calidad. Se producen aproximadamente 7500 Kg. de bioabono seco por año, en este tipo de digestor.

TABLA B-5

FLUJO DE FONDO DE CORRIENTE* PARA UN DIGESTOR QUE GENERA 4m³ BIOGAS/ DIA

AÑOS DE PROYECTO INVER. INICIALES/58000	0	1	2	3	4	5	6	7	8**	9	10	11	12	13	14	15
AMORTIZACION I=12% anual	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8	16089.8
MANO DE OBRA	8040***															
MANTENIMIENTO	1500															
REPOSICION DE EQUIPO	6687															
TOTAL DE COSTO DE OPERACIONES	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227	16227
GENERACION DE BENEFICIOS. COMERCIALES (3% INCREMENTO ANUAL)	29856	30759	31681	32632	33611	34619	35658	36727	37829	38964	40133	41337	42577	43854	45170	46500
VALOR DE BENEFICIOS NETOS SIN AMORTIZACION	-58000	13629	14532	15454	16405	17384	18392	19431	20500	21629	22829	24100	25453	26889	28419	29954
VALOR DE BENEFICIOS NETOS CON AMORTIZACION	-58000	-2460	-1557	-635	-315	1294.2	18392	19431	20500	21629	22829	24100	25453	26889	28419	29954

* Un mejor análisis debe valorizar los otros beneficios que genera el proyecto

** Hasta esta fecha se ha reunido por medio de amortizaciones lo suficiente para reemplazar la campana.

*** Solo está contemplado 1 hora cada 3 días, el trabajo puede ser 2 o 3 veces más; pero parte del trabajo se realizaba antes del proyecto.

1 La evaluación del proyecto fue asesorada por el Econ. Emilio Pfister, se empleó la formula

$$V_0 = -V_0 + \frac{R_1}{1+i} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n}$$

donde V_0 = Inversión inicial y R_1, R_2, \dots, R_n son los valores de beneficios netos a lo largo del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

1. ALMADA ALFONSO F., "BIOGAS: ENERGIA Y FERTILIZANTE A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS", OLADE, IIE, CUERNAVACA, MORELOS, MEXICO, 1981.
2. BARNETT ANDREW (COAUTOR) "BIOGAS TECHNOLOGY IN THE THIRD WORLD A MULTIDISCIPLINARY REVIEW", INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE (IDRC), OTAWA, CANADA, 1978.
3. BARRIGA R. ALFREDO Phd., "APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE RELLENO SANITARIO", Revista Poligira, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1982.
4. BARRIGA R. ALFREDO Phd. "PROGRAMA BIOGAS-ESPOL", REPORTE GUAYAQUIL, ECUADOR, 1981.
5. BERGMAN ELIHU, BETHE HANS A. "AMERICAN ENERGY CHOICES - BEFORE THE YEAR 2000", LEXINGTON BOOKS, NEW YORK, 1978.
6. CROOK MICHAEL (TRADUCTOR), "A CHINESE BIOGAS MANUAL", ADRIANE VAN BUREN, CHINA, JULIO, 1979.

7. DEUTSCH IRVING, "TECNOLOGIA DEL GAS", BLUME, BARCELONA, ESPAÑA, PRIMERA EDICION, 1972.
8. FRY JOHN, "METHANE DIGESTER", THE NEW ALCHEMY INSTITUTE CALIFORNIA, 1973.
9. FRY L.J. PRACTICAL BUILDING OF METHANE POWER PLANT FOR RURAL ENERGY INDEPENDENCE, STANDAR PRINTING, CALIFORNIA 1974.
10. HOUSE D., "THE COMPLEAT BIOGAS HANDBOOK", d. HOUSE, EUA MARCH, 1978.
11. KREITH FRANK, "PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR", EDITORIAL HERRERO Hno. MEXICO, 1970.
12. LARCO G. VICTOR, "ADAPTACION DE ELECTROGENERADORES A - USO DE BIOGAS, TESIS DE GRADO, ESPOL, 1982.
13. MEYNELL PETER, "METHANE, PLANNING A DIGESTER", SCHOCKEN BOOKS, GREAT BRITAIN, 1976.
14. NAS, "METHANE GENERATION FROM HUMAN, ANIMAL, AND AGRICULTURAL WASTES, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, WASHINGTON D.C., 1977.

15. OLADE, "MANUAL DE BIOGAS: PRIMER CURSO LATINOAMERICANO DE BIOGAS", OLADE, GUATEMALA, MAYO DE 1981.
16. OLADE, "BOLETIN ENERGETICO N 14 ", ENERO/MARZO, 1980.
17. OLADE, "BIOGAS: ENERGIA Y FERTILIZANTES A PARTIR DE DE SECHOS ORGANICOS". MEXICO, 1981.
18. SINGH R.B., "BIOGAS PLANT: GENERATING METHANE FROM ORGANIC WASTES", ALJITMAL, ETAWAH (U.P.), INDIA, GOBAR RESEARCH STATION, 1971.
19. VILLACRES 1. OSCAR, "UTILIZACION DE ENERGIA SOLAR PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCCION DE BIOGAS EN UN DIGESTOR ANAEROBICO PARA LAS ZONAS FRIAS", TESIS DE GRADO, ESPOL, 1983.
20. EL UNIVERSO, GUAYAQUIL, 19 DE OCTUBRE 1982