



628.44
HUA
p.2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Estudio del Aprovechamiento de la Fracción Orgánica de
los Residuos Sólidos Urbanos Para la Obtención de
Biogás en el Cantón La Libertad, provincia del Guayas”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Washington Eduardo Huamán Marcillo

Guayaquil – Ecuador

AÑO

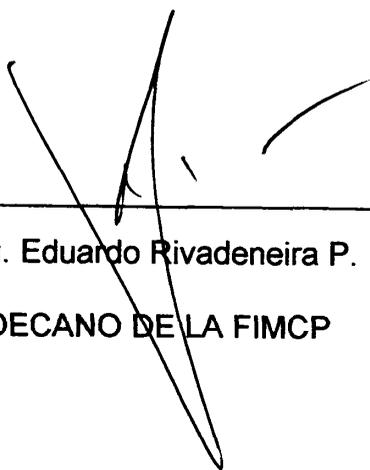
2001



DEDICATORIA

A mi hijo Luis Eduardo por ser
mi fuente infinita de inspiración.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Rivadeneira P.

DECANO DE LA FIMCP



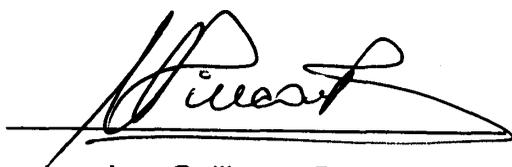
Ing. Marco Pazmiño B.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Duque R.

VOCAL



Ing. Guillermo Pincay

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la “ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Washington E. Huamán **Marcillo**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es demostrar la importancia en el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, estos residuos constituyen la materia prima a procesar, que mediante un proceso denominado anaeróbico se obtiene un gas (biogás) aprovechable para, usos energéticos.

En la primera parte de este trabajo se menciona la importancia de los residuos sólidos urbanos y el medio ambiente, así como también se menciona la normativa legal referente a los residuos sólidos urbanos.

Posteriormente en el capítulo dos se detalla los fundamentos teóricos referentes a los residuos sólidos urbanos.

En el capítulo siguiente se realiza una descripción del área de estudio, poniendo énfasis en cuanto a la proyección de la población generación de residuos sólidos urbanos, así como también en la implementación del muestreo realizado en el vertedero municipal, con el fin de determinar la composición de los residuos sólidos.

En el cuarto capítulo se describe la importancia de la digestión anaeróbica en la producción de biogás. Así como las variables que intervienen en el

proceso, también se describe las características de los productos de la digestión anaeróbica como son el biogás y el bioabono.

En el capítulo quinto se detalla los tipos de digestores, se realiza el cálculo para el dimensionamiento del digestor para el área de estudio, así como también los costos que intervienen en la construcción del mismo.

En el capítulo sexto se realiza el estudio económico que nos permite conocer la factibilidad y rentabilidad del proyecto.



INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
SIMBOLOGIA.....	IV
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. RIESGOS Y NORMATIVA LEGAL DE LOS RESIDUOS	
SÓLIDOS URBANOS.....	3
1.1. Riesgos de los Residuos Sólidos Urbanos.....	4
1.2. Residuos Sólidos Urbanos y el Medio Ambiente.....	4
1.3. Normativa Sobre el Manejo de los Residuos Sólidos	
Urbanos.....	6
CAPÍTULO 2	
2. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: GENERALIDADES.....	10
2.1. Fundamentos Teóricos.....	10
2.2. Composición de los Residuos Sólidos Urbanos.....	13
2.3. Propiedades de los Residuos Sólidos Urbanos.....	21
CAPÍTULO 3	

3. AREA DE ESTUDIO..	31
3.1. Descripción General del Área de Estudio..	32
3.2. Área..	33
3.3. Población.....	34
3.4. Generación de Basura	35
3.4.1 .Tasa Combinada de generación de Basura..	38
3.4.2. Proyección de la producción de Residuos Sólidos Urbanos	39
3.5 Composición de los Residuos Sólidos en La Libertad..	41
3.51 Clasificación..	41
3.5.2 Muestreo de los Residuos Sólidos Urbanos..	43
3.53 Implantación del Muestreo en el Área de Estudio....	44
CAPITULO 4	
4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ANAEROBICO..	52
4.1. La digestión Anaeróbica y la Producción Biogás..	52
4.2. Productos de la Digestión Anaeróbica..	62
4.2.1. Características del bioabono	62
4.2.2. Características del Biogás	63
4.3. Producción estimada de Biogás..	66
4.4. Análisis Económico	70
CAPITULO 5	
5. DIGESTORES GENERALIDADES Y CALCULO..	76

5.1. Tipos De digestores	76
5.2. Parámetros de Diseño.....	79
5.3. Calculo del Biodigestor en el Área de Estudio	80
5.4. Planta de Biogás: Costos de Inversión.....	86
CAPITULO 6	
6. ANÁLISIS ECONOMICO.....	88
6.1. Producción	88
6.2. Inversión.....	89
6.3. Recuperación de Inversión con Rentabilidad de la inversión	92
CAPITULO 7	
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
APENDICES	
BIBLIOGRAFIA	

SIMBOLOGIA

CH₄	Metano
CO₂	Dióxido de carbono
N₂	Nitrógeno
H₂	Hidrógeno
H₂S	Sulfuro de hidrógeno
Kcal/m³	Kilocalorías sobre metros cúbicos
Kw - h	Kilovatio - hora
NaOH	Hidróxido de sodio
H₂O	Agua
°K	Grados kelvin
°C	Grados centígrados
at.	atmósfera
mm	Mil ímetros
m	Metros
m²	Metros Cuadrados
cm³	Centímetros Cúbicos
Km²	Kilómetro cuadrado
gr/mol	Gramos sobre mol
Kg	Kilogramo
gr	gramo
Kg/m³	Kilogramo sobre metros cubitos
lt	Litros
mg/lt	Miligramos sobre litros
gr/lt	Gramos sobre litros
Kg/d	Kilogramo sobre día
hab.	Habitante

	Vivienda
Khab. – d	Kilogramo sobre habitante día
RO	Residuo orgánico
OMS	Organización mundial de la salud
SIC	Manual de clasificación industrial normalizado
RSU	Residuos sólidos urbanos
RD	Residuos domésticos
ROCI	Residuos de oficinas comercios e instituciones
RI	Residuos industriales
EE.UU.	Estados unidos de Norteamérica
LPG	Gas licuado de petróleo
Mi	Masa que entra
Mo	Masa que sale
Ma	Masa del agua
Mro	Masa del residuo orgánico
Mbg	Masa del biogás
Mba	Masa del bioabono
M	Peso molecular
Mr.	Mister
AM	Antes del meridiano
Cb	Costo del biogás
Cg	Costo del gas licuado de petróleo
V1	Volumen del biodigestor
v2	Volumen de la mezcla
Vg	Volumen del gasómetro
C:N	Relación carbono nitrógeno
vc	Volumen del cilindro
Pcb	Poder calorífico del biogás
Pcg	Poder calorífico del gas licuado de petróleo
Hu	Potencia calorífica inferior
Hwf	Potencia calorífica normal
Hawf	Potencia calorífica superior
BF	Fracción biodegradable
SV	Sólidos volátiles
LC	Contenido de lignina
t	Tiempo
D	Diámetro
R	Radio
R ²	Radio al cuadrado
R ³	Radio al cubo
H	Altura
H/D	Relación altura diámetro
P	Presión termodinámica
R	Constante de los gases

Mj/Kg

Mega joule sobre kilogramo

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Composición General de los R.S.U	14
Tabla 2	Clasificación de Residuos Industriales..	16
Tabla 3	Descomposición de los R.S.U. Excluidos los Industriales y Agrícolas EE.UU.	17
Tabla 4	Dinamarca: Composición de Residuos de Orígenes diferentes	19
Tabla 5	Composición de los Residuos domésticos por Países....	19
Tabla 6	Composición Típica de Residuos Domésticos en Irlanda	20
Tabla 7	Densidad de los Residuos Sólidos Urbanos	22
Tabla 8	Nivel de Humedad de los Residuos sólidos Urbanos....	23
Tabla 9	Distribución del Tamaño de Partícula,	24
Tabla 10	Análisis inmediato Típico y Contenido Energético en los R.S.U	26
Tabla 11	Análisis Inmediato o Elemento Típico..	28
Tabla 12	Biodegradabilidad de los Componentes de RSU	30
Tabla 13	Datos de Censos	34
Tabla 14	Índice de Crecimiento..	34
Tabla 15	Proyección de la Población	35
Tabla 16	Producción Per Capita de Basura en Algunas Ciudades del mundo	37
Tabla 17	Proyección de la Producción de Residuos Sólidos.....	40
Tabla 18	Métodos de eliminación por Vivienda..	40
Tabla 19	Formato de Información..	45
Tabla 20	Resultado de la Muestra # 1	46
Tabla 21	Resultado de la Muestra # 2	46
Tabla 22	Resultado de la Muestra # 3	47
Tabla 23	Resultado de la Muestra # 4	47
Tabla 24	Resultado de la Muestra # 5	48
Tabla 25	Resultado de la Muestra # 6	48
Tabla 26	Resultado de la Muestra # 7	49

Tabla 27	Promedio de las Muestras	49
Tabla 28	Proyección de la producción de Residuos Orgánicos	51
Tabla 29	Residuos Orgánicos Relación C: N	55
Tabla 30	Elementos Inhibidores..	58
Tabla 31	Composición Química del Biogás	64
Tabla 32	Comparación de Propiedades Biogás – Metano..	65
Tabla 33	Equivalencia Energética del Biogás..	65
Tabla 34	Peso Molecular del Biogás.....	68
Tabla 35	Producción Anual Estimada de Biogás y Bioabon..	70
Tabla 36	Consumo de NaOH y Agua para Purificar la producción Estimada de Biogás..	75
Tabla 37	Variables de Dimensionamiento..	83
Tabla 38	Valor Económico Anual del Biogás..	89
Tabla 39	Listado de Equipos..	90
Tabla 40	Presupuesto Preliminar..	91

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1	Promedio del muestreo	50
------------	-----------------------------	----

INTRODUCCION

Como consecuencia de una sociedad de consumo, la vida ciudadana genera toda clase de residuos o basuras, cuya recogida y posterior tratamiento han ido creciendo en importancia: contando hoy en día con la tecnología necesaria para resolver esta **problemática**, y constituyéndose además, cuando se aplica **las técnicas adecuadas**: en una fuente de energía nada despreciable.

El presente trabajo tiene por **finalidad** resaltar la **importancia** del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Estos residuos constituyen la materia prima a procesar, que mediante la aplicación del proceso anaeróbico (en ausencia de oxígeno) se obtiene un gas (biogás) aprovechable para usos **energéticos**.

La **aplicación** del proceso anaeróbico tiene como objetivo fundamental además de participar en la **solución** parcial de problemas sanitarios producidos por los residuos sólidos urbanos, obtener biogás cuyo uso fundamental es el energético y un desecho **semisólido** (bioabono) con elementos que adicionados al suelo aumentan **el** contenido de humus en el mismo.

Es importante destacar que el estudio solo cuantifica la producción de biogás que se genera al procesar la fracción orgánica de los residuos sólidos con su respectivo valor económico y potencial comercialización en el cantón La Libertad, no así con el **efluente** o bioabono, destacando también que el bioabono tiene un potencial mercado, por cuanto CEDEGE ha rehabilitado suelos improductivos para convertirlos en suelos fértiles esto debido a la construcción del trasvase de las aguas del río **Daule** a la península de Santa Elena. Hoy en día se desarrollan proyectos agrícolas de toda índole, como proyectos hortícolas y frutícolas generando fuentes de trabajo y bienestar en la península de Santa Elena.

La aplicación de la tecnología anaeróbica permite convertir un problema de contaminación ambiental, salud ambiental, y deterioro ecológico en una fuente de recursos **energéticos**, fertilizantes y económicos. es por esta razón que los alcaldes especialmente de comunidades **pequeñas** deben canalizar los recursos necesarios para ejecutar proyectos de construcción de plantas de digestión anaeróbica, debiendo ser administrados de tal manera que se permita la eficiente operación de la planta.



CAPITULO 1

1. RIESGOS Y NORMATIVA LEGAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

1.1. RIESGOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no esta bien determinada. Sin embargo se le atribuye una incidencia en la transmisión de algunas enfermedades. Para comprender con mayor claridad los efectos de los residuos sólidos urbanos en las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos generados por los **RSU**.

Los riesgos directos son los ocasionados por el contacto directo con los residuos, que muchas veces contienen restos de excrementos, ya sea de humanos o de animales; las personas mas expuestas son los recolectores debido a la manipulación de recipientes para el almacenamiento de los residuos, en la misma situación se encuentran

los segregadores o **chamberos** cuya actividad de separación y recolección de materiales **la** realizan casi siempre sin protección alguna.

Los riesgos indirectos son los originados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos y por los vectores sanitarios que representan un peligro potencial para la población.

1.2. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y EL MEDIO AMBIENTE

Un manejo inadecuado de los residuos **sólidos** urbanos en cuanto a disposición final se refiere, incide directamente en la degradación del paisaje, deterioro estético de las ciudades y lo que es mas grave causa contaminación directa al agua, aire y suelo.

Contaminación del agua: es el afecto ambiental más serio, pero menos reconocido es la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales que son originadas debido al vertimiento de los residuos sólidos a los ríos y cuerpos de aguas: sumándose a esto los líquidos percolados de los vertederos a cielo abierto.

La descarga de los residuos sólidos a los cuerpos de agua incide en que se incremente la carga orgánica disminuyendo el oxígeno disuelto

en ella aumentando los nutrientes y el desarrollo de **algas**, que dan lugar a la **eutrofización**, causando la consiguiente muerte de los organismos vivos que se desarrollan en los cuerpos de aguas (12).

Contaminación del suelo: La acumulación de los residuos sólidos urbanos en vertederos abiertos deteriora el paisaje natural, y lo que es más importante por ser los residuos sólidos de composición heterogénea da lugar que la combinación de uno o más residuos resulte de naturaleza contaminante y agresiva para el suelo, teniendo como resultado la consiguiente muerte toda vida orgánica.

Otra forma de contaminación la constituyen los residuos sólidos abandonados en la vía pública: que potencialmente pueden llegar a taponar **alcantarillas** y **canales** de desfogues: y que llegan a causar graves problemas en la temporada invernal.

Contaminación del aire: Principalmente el aire se contamina por los **humos** que son el resultado de la combustión de los residuos sólidos en vertederos a cielo abierto, que son siempre causa de irritaciones nasales y de la vista, así como también están relacionadas con el incremento de enfermedades pulmonares a personas que están expuestas a **tales** contaminantes.

Adicionalmente el aire se contamina por los **malos** olores que son el resultado de la degradación de **los** residuos orgánicos o putrescibles: causando malestar a las personas que están de algún modo relacionados con los residuos sólidos.

1.3. **NORMATIVA SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

En el Ecuador existe el marco legal sobre saneamiento ambiental y manejo de los residuos sólidos urbanos, estando definido por un cuerpo de leyes, normas y reglamentos que a continuación describiremos:

- **La Constitución de la Republica:** establece que es deber del estado ecuatoriano brindar un ambiente libre de contaminación y asegurar todas las condiciones necesarias para precautelar el medio en el que el hombre desarrolla sus actividades.
- **El Código de la Salud:** en el capítulo V que entro en vigencia el 8 de febrero de 1.971 establece las normas sobre recolección y disposición de basuras.
- Toda persona está obligada a mantener el aseo de las ciudades donde viven, debiendo inhibirse de arrojar basura en lugares no autorizados.

- Los municipios son las instituciones **obligadas** a realizar la recolección y disposición final de las basuras (residuos) de acuerdo con procedimientos técnicamente adecuados.
- Es obligación de la población hacer uso de los servicios de recolección y disposición de basuras (residuos).
- Se prohíbe el manipuleo de desechos sin el previo permiso de la autoridad de salud.
- Es **responsabilidad** de los municipios la remoción de escombros y amontonamiento de basuras.
- Se prohíbe emplear **a** menores de edad en el manipuleo de basuras
- **La ley para la prevención y control de la contaminación ambiental:** emitida por el ministerio de salud pública, mediante decreto 374 dictado en mayo de 4 .976 dispone que el ministerio de salud, **a** través del instituto ecuatoriano de obras sanitarias (IEOS) coordine **la** ejecución de acciones y actividades de control con los consejos provinciales, consejos municipales, y las autoridades seccionales responsables **del** aseo público, en el área urbana y rural.
- **La ley de régimen municipal:** establece que, en coordinación con el IEOS, son los municipios los encargados de cuidar de la higiene y salubridad del cantón, **vigilar** desde **el** punto de vista de la higiene

que los depósitos de basura reúnan los requisitos señalados por las disposiciones sanitarias de la autoridad de salud, velar por el cumplimiento de las normas legales sobre saneamiento ambiental y establecer las disposiciones legales sobre: limpieza, recolección, transporte y disposición final de los residuos.

- **Reglamento para el manejo de desechos sólidos:** entró en vigencia el 3 de agosto de 1.972 y regula los servicios de almacenamiento, barrido, recolección, transporte, disposición final y demás aspectos relacionados con los desechos sólidos, cualquiera sea la actividad o fuente de generación.
- **Decreto sobre importación de desechos tóxicos:** el decreto en mención entro en vigencia con su publicación en el registro oficial **970 el 2** de julio de 1.992.

El decreto en mención dice lo siguiente:

Decreto 3.467

Artículo1.- Prohíbese la importación o introducción al país de desechos gaseosos, líquidos o sólidos peligrosos o contaminantes de cualquier tipo y procedencia, considerados o no como tóxicos en especial de desechos radiactivos.

Artículo **2.-** De la ejecución del presente decreto que entrará en vigencia desde su publicación en el registro oficial, encárguense los ministros de defensa nacional, de salud pública e industrias comercio, integración y pesca.

- **Ordenanzas.-** Las ordenanzas que deben ser emitidas por cada municipio, de manera general tienen un contenido similar al de las leyes descritas anteriormente y reglamentan detalles de la prestación del servicio, como por ejemplo la tasa por recolección de basura.

CAPITULO 2

2. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: GENERALIDADES

2.1. Fundamentos Teóricos

En el lenguaje corriente, la denominación basuras parece no referirse más que a los desechos de la vida doméstica. Las necesidades de la vida en las ciudades han conducido a ampliar esta definición y a admitir bajo este vocablo a determinados residuos que no provienen de las residencias, esta ampliación no podía hacerse sin limitaciones, especialmente ante las posibilidades de la recolección y de los procedimientos de tratamiento. Se consideran residuos sólidos urbanos los productos siguientes:

Las basuras domiciliarias, como latas, restos de vidrio vajilla, plásticos, restos de comidas, cartón, debiendo ser colocados en recipientes o sacos y en las horas destinadas para la recolección.

- Los residuos provenientes de actividades industriales, comerciales: **artesanales** así como también de jardines privados.
- El **estiércol**, abono de **estiércol**, **fango**, y de forma general todos los productos que proceden de la limpieza de **las** vías públicas, vías privadas, jardines **públicos**, parques, cementerios y sus dependencias.
- Los **productos** públicos, provenientes de la limpieza de mercados, ferias, centros de abastos, lugares de esparcimiento público, ferias de ganado.
- Los residuos que proceden de las escuelas, cuarteles, hospitales, edificios públicos y prisiones.

Mo están comprendidos en la denominación de residuos sólidos urbanos :

- Los **escombros**, restos de obra y en general material de demolición: tanto de obras públicas como de particulares.
- Los residuos de las fábricas y, en general, todos los residuos provenientes de un comercio o de una industria cualquiera.
- Los restos anatómicos o infecciosos procedentes de los hospitales o clínicas que deben ser tratados en el respectivo centro (10).
- Los desechos procedentes del camal o mataderos.

Estas definiciones permiten aceptar algunos residuos industriales o comerciales, pero con la condición de que no presenten ningún inconveniente ni para la recolección ni en el tratamiento. Estos residuos: en cantidad limitada, deben presentarse en recipientes en las mismas condiciones que las basuras domiciliarias.

Esta disposición se ha tomado con el fin de facilitar la reunión de los residuos de los comercios, artesanos, **pequeñas** industrias, que produciendo cantidades pequeñas, tendrían dificultades para evacuarlas día a día. La administración, que puede asegurar esta recuperación al mismo tiempo que la de las basuras domiciliarias, les aporta por tanto una facilidad. Hay que hacer notar que los imperativos de la recolección han conducido a limitar las dimensiones y las cantidades de los desechos industriales y comerciales así aceptados por el servicio municipal de recolección.

Pero al nivel del tratamiento en fábrica o de la evacuación, las posibilidades pueden ser mayores, puesto que los productores pueden aportar directamente sus desechos a las fabricas o a los vertederos, según sea la capacidad de **las instalaciones y la naturaleza de los** residuos, podrá ser de interés general **al aceptar los desechos** industriales de un cierta importancia. La definición de los desechos

sólidos da lugar a otra observación. Según esta **definición** tradicional. los residuos **sólidos** no deberían estar constituidas más que por residuos en pequeñas dimensiones en recipientes **fácil** de manipular. Pero conviene subrayar que se trata en este caso de una lista no limitativa que debe **servir** de base a las obligaciones de los municipios o las empresa encargadas de la recolección.

A este respecto, se observará que, según la definición, no están comprendidas entre las basuras domiciliarias los objetos que, por sus dimensiones, su peso o naturaleza, no pueden cargarse en los camiones . Esta reserva se apoya en consideraciones de orden práctico respecto **al** material especial de recogida. Sin embargo, ha ocurrido que los objetos de desecho de mayor tamaño de uso domestico **son** cada vez mas numerosos: debido a la **elevación** del **nivel** de vida . Y así, el campo de acción de los servicios de recogida y de eliminación de los residuos **sólidos** tiende a ampliarse (14).

2.2. **Composición De Los Residuos Sólidos Urbanos**

En muchas situaciones, las basuras domesticas y comerciales se recogen y se transportan por **las** mismas autoridades y a veces **la** fracción/ composición de ambas **coincide**. La tabla 1 muestra la composición general de los residuos sólidos urbanos.

TABLA 1**Composición general de los R.S.U.**

Composición general	Composición típica	Composición específica
Orgánica	Alimentos putrescibles Papel y cartón Plásticos Ropa / telas Residuos de jardín Madera Restos orgánicos	Alimentos Vegetales Papel Cartón Polietileno tereftalao (pete) Polietileno de alta densidad (HDPE) cloruro de polivinilo (PVC) polietileno de baja densidad (LDPE) polipropileno (PP) poliestireno (PS) otros plásticos multicapa productos textiles alfombras goma pieles restos del jardín madera huesos
norgánica	Metales Vidrio Tierra, cenizas, etc. No clasificados	latas metales ferrosos aluminio metales no ferrosos incoloros coloreados tierra, sólidos de desgaste cenizas piedras ladrillos objetos voluminosos

FUENTE: **Gerard Kiely**, Ingeniería Ambiental, 1.999

Lo más común es distinguir entre residuos orgánicos y residuos inorgánicos. Esto puede parecer satisfactorio para los particulares y para todos los usuarios, lo que se explicará para la composición reflejará el tratamiento propuesto, por ejemplo si se propone incinerar los residuos, entonces es esencial evaluar el poder calorífico, y los residuos se clasificarían según sean combustibles o incombustibles.

Si se plantea la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los RSU, entonces podría ser más adecuado detallar la fracción alimenticia y agrupar todo el resto en otros. Los residuos también se clasifican con vistas a la posible recuperación de sus componentes, y esto identificaría con más detalle el vidrio, los metales, los plásticos y maderas. Los residuos **sólidos industriales** se recogen mayoritariamente por empresas privadas. Las industrias tienden a diferenciar la composición de sus residuos según el tipo de la industria, por ejemplo productos de papel, productos de metal .

La OMS (1991) organiza los desechos industriales en tres categorías:

- Residuos industriales no peligrosos
- Residuos peligrosos
- Residuos de hospitales

En los Estados Unidos de América, el manual de clasificación industrial normalizado (sic) de 1972 identifica los desechos industriales según la industria y el tipo de producto. Una muestra de éstos aparece en la tabla 2.

TABLA 2

CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Clasificación SIC	Proceso de generación de residuos	Residuos
Comida y productos alimenticios	Tratamiento, embalaje, transporte	Carnes, grasa, aceites, huesos vegetales, frutas, etc.
Papel y derivados	Fabricación de papel, cartón, cajas, etc.	Papel, cartón, colas, productos químicos, etc.
Productos eléctricos	Fabricación de aplicaciones eléctricas	Chatarra, plásticos, gomas, vidrio, productos textiles, etc.
Productos químicos	Fabricación de medicinas, etc.	Productos químicos orgánicos e inorgánicos, metales, plásticos, pinturas, disolventes

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

Los residuos generados dentro de un municipio (excluyendo las industrias y agrícolas) variaran ampliamente y dependerán de la comunidad y de su nivel comercial e institucional. Los datos de los

residuos depende también del nivel de satisfacción del funcionamiento de la gestión de los residuos sólidos. Como se puede observar en la tabla 3, normalmente el 0,1% en peso de los residuos generados en una comunidad son peligrosos. Esto es similar a los índices de Dinamarca.

TABLA 3
DESCOMPOSICIÓN DE LOS RSU EXCLUIDOS LOS INDUSTRIALES Y
AGRÍCOLAS (EE.UU.)

Origen del residuo	% en peso	
	Intervalo	Típico
Residencial y comercial (no peligrosos)	50 – 75	62
Residuos especiales (voluminosos, etc.)	3 – 12	5
Peligrosos	0,01– 1	0,1
Institucionales	3 – 5	4
Construcción y demolición	8 – 20	14
Servicios municipales		
Basuras de calle	2 - 5	4
Paisajismo	4 - 9	6
Plantas de tratamiento de lodos	3 - 8	5

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

Sin embargo, Irlanda registra 0% de residuos peligrosos en los puntos de evacuación municipales. Las cifras reales irlandesas para la fracción de residuos peligrosos en vertederos municipales probablemente son mayores que los de EE.UU., especialmente porque Irlanda no tiene instalaciones de tratamiento para estos

residuos. Más aún cuando Irlanda practica la eliminación conjunta (co – eliminación) de basuras domésticas y de residuos industriales en el mismo vertedero. La co- eliminación es una práctica de vertido que actualmente se está cuestionando: puesto que los residuos municipales e industriales no son necesariamente compatibles.

La práctica de eliminación de lodos industriales de orígenes diferentes en los vertederos municipales ha causado problemas con las operaciones debido al continuo estado húmedo de las celdas abiertas.

Los residuos enviados al vertedero de Cork Irlanda (La única zona que dispone de instalaciones para su eliminación) son aproximadamente 100.000 toneladas al año. De estos, el 35 % son domésticos: el 46 % son comerciales, el 11 % son industriales y el 8 % son diversos (4).

La tabla 4 enumera los problemas de los residuos en una comunidad típica americana. La tabla 5 muestra la composición típica de basura doméstica según el país y la tabla 6 muestra los resultados en cuatro vertederos de Irlanda.

TABLA 4

DINAMARCA: COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE ORÍGENES DIFERENTES.

Tipo de residuo	Fracción de residuo (%)							
	Orgánico alimenticio	cartón	papel	plástico	Otros combustibles	vidrio	metal	Otros no combustibles
RD Viviendas	35	5	30	6	8	8	4	4
ROCI Oficinas	25	9	58	4	1	2	1	
Hospitales	22	5	51	10	12			
Escuelas	31	13	44	6			6	
RI Alimentaria	20-45		0 - 15 10 - 30	0 - 15 10 - 30		0-15	0-10	10 - 55
Química	0-5			0-5			0-20	5-60
Fundición							5-75	10 - 85

Fuente: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

TABLA 5

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DOMÉSTICOS POR PAÍSES

Componentes	EEUU	Dinamarca	Rumania	Inglaterra	Polonia	China	Holanda
Residuos alimenticios	9	35	25	26,7	24	36	34,2
Papel, Cartón	40	35	29	35,5	11	2	18,7
Plásticos	7	6	7	5,2	2	1,5	16,1
Vidrio	8	8	10	10,8	6	1	5,4
Metales	9.5	4	8	6	2	1	2,9
Ropas / telas	2	8	3	3,4	10	1,5	2,6
Ceniza, Polvo	3	4	14	5	45	57	17,2
Inclasificados (jardín, patios)	21.5		4	7,1			2,9

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

TABLA 6**COMPOSICIÓN TÍPICA DE RESIDUOS DOMÉSTICOS EN IRLANDA**

Componente	Dublín	Cork	Mallow	Bandon	Promedio Nacional Irlanda
Residuos alimenticios	34,2	15	42	37	31,5
Papel, catión	18,7	44	15		24,5
Plásticos	16,1	3	12		34
Vidrio	2,9	9	7		3
Metales	5,4	8	10		7,5
Ropas / telas	2,6	2	1		3
Cenizas, polvo inclasificados	17,2	4	10	12	12
(jardín, madera)	2,9	15	3	51	

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental' 1.999

De las tablas 5 y 6 se deducen las siguientes observaciones:

- Los residuos de alimentación constituyen aproximadamente el 30 % de toda la basura doméstica. El bajo porcentaje, un 9 % en los Estados Unidos se debe al uso de las trituradoras en los fregaderos de las cocinas. El uso de estos utensilios aumenta la cantidad de sólidos orgánicos en las plantas depuradoras de aguas residuales.
- El papel y el cartón constituyen aproximadamente el 35 % e incluso más.
- El vidrio constituye aproximadamente el 8 %.
- Los metales un 5% 0 más.

- Los plásticos constituyen alrededor de un 8 %.

2.3. PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Tradicionalmente los manipuladores de residuos sólidos no necesitaban saber mucho sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos, desde que todos los desechos se descargaban al vertedero. Como el tratamiento adecuado actualmente implica reciclaje, reutilización, transformación y eliminación, es importante saber los detalles de los residuos con respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad: Esta característica tiene una gran influencia en las capacidades de los medios de recogida y de almacenamiento de las basuras- No tiene sentido más que si se definen las condiciones en las que se determine. En efecto, las basuras son comprimibles y su densidad varía a lo largo de las distintas manipulaciones que experimentan desde el lugar de producción al lugar de eliminación.

La densidad de los residuos sólidos varía con su composición, el nivel de humedad y el grado de compactación. La tabla 7 muestra datos sobre la densidad de los residuos sólidos.

TABLA 7

DENSIDAD DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Origen del residuo	Componente del residuo	Densidad (Kg/m ³)
Domestico	Alimentos	290
	Papel y cartón	70
	Plásticos	60
	Vidrio	200
	Metales	200
	Ropa / telas	60
	Cenizas, polvo	500
	Municipales	
Vo compactados		300
En camión compactador		500
Compactación normal en vertedero		600
3ien compactados en vertedero		

FUENTE: Gerard Kíely, Ingeniería Ambiental, 1.999

Grado de humedad: Los residuos sólidos encierran una cantidad bastante grande de agua, cantidad que varia considerablemente de un lugar geográfico a otro: de una estación a otra, entre el 25 y el 60 %.

Esta agua tiene una influencia notable en el poder calorífico útil de las basuras, así como en la rapidez de descomposición de las materias putrescibles que contienen.

La humedad, que depende no solo de la naturaleza de las basuras, sino también del clima: es fácil intuir que la humedad disminuye en verano y aumenta en invierno como es el caso en el Ecuador.

La tabla 8 muestra algunos valores típicos de humedad.

TABLA 8
NIVEL DE HUMEDAD DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Origen del residuo	Componente del residuo	Nivel de Humedad (% en peso)
Domestico	Alimentos	70
	Papel y cartón	5
	Plásticos	2
	Vidrio	2
	Metales	2
	Ropa/ tejas	10
	Cenizas, polvo	8
Municipales		
No compactados		20
En camión compactador		20
Compactación normal en vertedero		25
Bien compactados		25

Fuente: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

Distribución del tamaño de partículas: la distribución del tamaño de partículas, al igual que el porcentaje de combustibles, es importante para los métodos de incineración y transformación biológicos. El tamaño de partículas también es importante para el reciclaje y la

reutilización. para el dimensionamiento de equipos para posteriores tratamientos.

Los componentes de los residuos se suelen describir según su longitud, anchura y altura. Es importante conocer la longitud para medir las bandas transportadoras, las trituradoras, etc., y estas dimensiones para las basuras domesticas aparecen en la tabla 9.

TABLA 9
DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Componente	Intervalo de Tamaños (mm)	Típica (mm)
Alimentos	0-200	100
Papel y cartón	100-500	350
Plásticos	0 - 400	200
Vidrio	0-200	1 0 0
Metales	0-200	100
Ropa/ textil	0-300	150
Cenizas, polvos	0-100	25

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

De esta tabla se llega a la conclusión de que el tamaño medio de partícula es de 100 mm para los tratamientos de compostaje y otros, se utilizan trituradoras y separadoras para la reducción de tamaño hasta conseguir el requerido.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Uno de los primeros pasos para identificar la tecnología de tratamiento más apropiado es determinar sus propiedades químicas. Estas son:

- Análisis inmediato.
- Análisis mediato o elemental.
- Contenido de energía.

En el análisis inmediato se incluye:

- Material volátil.
- Carbón fijo.
- Fracción no combustible (cenizas)

La tabla 10 da un análisis inmediato y evalúa los contenidos de energía para los residuos sólidos típicos. Los valores energéticos representados en la tabla 10 son propios de los residuos según se recogen, secos y sin cenizas.

TABLA 10

ANÁLISIS INMEDIATO TÍPICO Y CONTENIDO ENERGÉTICO EN LOS RSU

Tipo de residuo	Análisis inmediato (% en peso)				Contenido energético (MJ/Kg)		
	Humedad	Volátiles	Carbón fijo	No combustible	H _u	H _{wf}	H _{awf}
Alimentos Mezclados	70	21	3,6	5,0	4,2	13,9	16,7
Grasas	2	95	2,5	0,2	37,4	38,2	39,1
Fruta	79	16	4,0	0,7	4,0	18,6	19,2
Carne	39	56	1,8	3,1	17,6	28,9	30,4
Papel mezclado	10,2	76	8,4	5,4	15,7	17,6	18,7
Periódicos	6	81	11,5	1,4	18,5	19,7	20,0
Cartón	5,2	77	12,3	5,0	26,2	27,1	27,4
Plásticos Mezclados	0,2	96	2	2	32,7	33,4	37,1
Poliétileno	0,2	98	< 0,1	1,2	43,4	43,4	43,9
Poliestireno	0,2	99	0,7	0,5	38,0	38,1	38,1
Poliuretano	0,2	87	8,3	4,4	26,0	26,0	27,1
PVC	0,2	87	10,8	2,1	22,5	22,5	22,7
Textiles	10	66	17,5	6,5	18,3	20,4	22,7
Restos de jardín	60	30	9,5	0,5	6,0	15,1	15,1
Maderas mezcladas	20	68	11,3	0,6	15,4	19,3	19,3
Vidrio	2			96 - 99	0,2	0,2	0,15
Metales	2,5			94 - 99	0,7	0,7	0,7

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999



La nomenclatura para el contenido de energía es la siguiente:

Hu: Potencia calorífica inferior, es decir, de los residuos según se recogen.

Hwf: Potencia calorífica normal, es decir, de los residuos sin agua (secos).

Hawf: Potencia calorífica superior, es decir, de los residuos sin cenizas ni agua.

Análisis mediato o elemental: Los elementos más importantes en la transformación de energía de los residuos son; carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, y las cenizas.

Es importante conocer la composición química y el análisis final (ver tabla 11), para los procesos de conversión de residuos a energía, ya sea por combustión o por transformación biológica.

TABLA 11**ANÁLISIS INMEDIATO O ELEMENTAL TÍPICO DE LOS RSU**

Componente	% en peso					
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
Alimentos	48	6	38	2,5	0,5	5
Papel y cartón	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Plásticos	60	7	23			10
Vidrio	0,5	0,1	0,4	<0,1		99
Metales	5	0,6	4,3	0,1		90
Ropa/ textil	55	7	30	5	0,2	3
Cenizas, polvo	26	3	2	0,5	0,2	68

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

Por ejemplo, un residuo muy rico en plásticos es muy adecuado para la incineración pero totalmente impropio para la transformación biológica. Del mismo modo, un residuo rico en Madera o los residuos de jardín son mas aptos para ser incinerados, pero no lo son para convertirse en elementos biológicos.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

Las propiedades biológicas son importantes para la tecnología de la digestión aerobia / anaerobia en la transformación de residuos en energía y en productos finales beneficiosos. El proceso anaerobio implica la descomposición biológica de residuos alimenticios con productos finales de metano, dióxido de carbono y otros. La digestión anaerobia de la fracción orgánico de residuos sólidos se ha empleado

a gran escala. Algunos componentes orgánicos de los residuos sólidos no son deseables en la conversión biológica, esto es: plásticos, gomas, pieles y maderas. Los fragmentos importantes en la transformación biológica son las grasas, las proteínas, la lignina, celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa, y los constituyentes solubles.

El grado de biodegradabilidad de la fracción orgánica de los RSU viene proporcionado por :

$$BF = 0,83 - 0,028 LC$$

Donde:

BF: fracción biodegradable expresada en base a sólidos volátiles (SV)

LC: contenido de lignina de los VS, % en peso seco

La tabla 12 muestra el grado de biodegradabilidad de varios componentes de RSU.

TABLA 12**Biodegradabilidad de los componentes de RSU**

Componente	SV como % de SVT	LC como % de SV	BF
Residuos alimenticios	7 - 15	0,4	0,82
Papel de prensa	94	21,9	0,22
Papel de oficina	96	0,4	0,82
Cartón	94	12,9	0,47
Residuos de jardín	50 - 90	4,1	0,72

FUENTE: Gerard Kiely, Ingeniería Ambiental, 1.999

CAPITULO 3

3. AREA BE ESTUDIO

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL BEL ÁREA BE ESTUDIO

La Libertad según los descubrimientos arqueológicos, estuvo poblada en la prehistoria a fines del siglo pasado y a principios del siglo xx, la población de La Libertad estuvo asentada al filo del mar. Se trata de pequeños grupos artesanales, esta tradición se ha mantenido a lo largo de los últimos 1 00 años (II).

Fueron los emigrantes, los fundadores de La Libertad. La población aborigen fue desplazada por los emigrantes que Negaban de todas las provincias del país inspirados por las posibilidades de trabajo que brindaba la compañía inglesa anglo.

La Libertad alcanzó prestigio nacional por su condición de puerto y por las refinerías de petróleo.

En 1928, la anglo tenía un número considerable de trabajadores en el puerto de La Libertad. En realidad, el petróleo fue el recurso que transformó la geografía y la vida social de la población.

Por 1928, puerto rico es el primer centro urbano de La Libertad. En la década del 30, el cantón empezó su vida al filo del mar con dos columnas de casas de norte a sur, construidas con maderas, caña y paja.

La compañía anglo construyó la ciudadela puerto rico, ubicada en la colina frente a la playa y al muelle, cuya superficie avanza hasta el edificio del cuerpo de bomberos.

También la anglo construyó la ciudadela las acacias residencia de obreros petroleros. Hasta la década del 60, la libertad iba desde las acacias hasta la escuela Mendoza, y desde el malecón hasta el cementerio.

En 1927, el muelle de 190 metros de extensión está en servicio. En 1928 la refinería de la libertad está en plena construcción, entonces la compañía anglo tenía 36 edificios entre casas, oficinas y bodegas. En ese año en puerto rico residen Mr. Samuel Stewart superintendente

del puerto, Mr. Thomas Robathan jefe del departamento de producción de la refinería: entre otros.

Es de vital importancia destacar que las compañías petroleras, que se establecieron en la península de Santa Elena, han impulsado el desarrollo demográfico, económico y social de La Libertad.

La Libertad formo parte del cantón Salinas como parroquia urbana hasta el año de 1992, constituyéndose en cantón urbano el 14 de abril de 1993.

3.2. AREA

Según datos obtenidos en el departamento de obras publicas de la municipalidad, la libertad tiene una extensión aproximada de 25 Km²., estando ubicada entre los cantones de Salinas y Santa Elena.

LIMITES

Al norte	Cantón SANTA ELENA
Al sur	Cantón SALINAS
Al este	Cantón SALINAS
Al oeste	Con el Océano Pacifico

3.3. POBLACIÓN

Su población es de 53108 habitantes, según el v censo de población realizado en el año de 1990, actualmente la población sobrepasa los 63864 habitantes (5).

TABLA 13
DATOS DE CENSOS

	Censo 1.982	Censo 1.990	Proyección año 2.001
Población (habitantes)	41.776	53.108	63.864

TABLA 14
ÍNDICE DE CRECIMIENTO

Período	Crecimiento anual (%)
1974-1982	0.8
1982 – 1990	0.8
1990 - 2001	1.67

Como puede observarse, durante los **periodos** ínter censales de 1974 – 1982 y 1982 – 1990 el **índice** de crecimiento poblacional se sitúa en el **0.8%**, aumentando de manera considerable durante el periodo intercensal de 1990 – 2001 en el 1.69%. Esto obedece

fundamentalmente a varios factores como: movimientos migratorios, costumbres y mejores condiciones de vida.

TABLA 15
PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

Año	Índice de crecimiento (%)	Población (hab)
1990	1.69	53108
2001		63864
2002		64931
2003		66015
2004		67117
2005		68238
2006		69378
2007		70544
2008		71722
2009		72920
2010		74138
2011		75376

3.4. GENERACIÓN DE BASURA

la cantidad de residuos sólidos producidos por habitante es variable y función de varios elementos y depende esencialmente de :

- Del nivel de vida de la población, crece con el en una proporción importante.
- De la estación, para una misma población es generalmente variable.

- Del modo de vida de la habitantes, esta influenciada por las migraciones cotidianas entre la ciudad y el resto de la aglomeración.
- Del movimiento de las poblaciones durante los feriados de vacaciones, los fines de semana y los días de fiesta.
- De los métodos nuevos de acondicionamiento de las mercancías con tendencia a la practica de los embalajes perdidos.
- Características de consumo de la población.
- Las operaciones de recuperación y reciclaje
- La existencia de leyes relacionadas a la conservación ambiental.

Las cantidades de residuos sólidos pueden expresarse en peso o volumen. Sin embargo, por el hecho de la compresibilidad de los residuos, solo el peso constituye un dato preciso y medurable con facilidad.

El conocimiento de la cantidad total de RSU reunidas en una aglomeración es, pues, el resultado de pesadas. Se considera corrientemente la producción por habitante que es evidentemente un

dato teórico pero útil. Es en efecto: el cociente del tonelaje total recogido por año o por día, por el número de habitantes servidos.

A la cantidad de RSU que se generan en un día por los habitantes de una ciudad se denomina producción PER CAPITA de basura: quedando expresado de la siguiente manera Kg/hab- d.

En la tabla 16 se muestra la producción PER CAPITA de basuras en algunas ciudades importantes del planeta.

TABLA 16
PRODUCCIÓN PER CAPITA DE BASURA EN ALGUNAS
CIUDADES DEL MUNDO.

CIUDAD	PRODUCCION (Kg / hab – d)
Los Angeles	2.9
Filadelfia	2.6
Chicago	2.3
Nueva York	1.8
Tokio	1.4
Paris	1.1
Toronto	1.1
Hamburgo	0,9
México D.F.	0,9
Río de Janeiro	0,9
Bogota	0,8
Roma	0,9

FUENTE: Revista La Pura Verdad, 1.989

De la tabla 16 podemos observar que los habitantes de estados unidos de Norteamérica son los mayores productores de basuras, este país el valor promedio de generación PER CAPITA es de 1,6 Kg/hab.- d

En los países en vías de desarrollo: se produce menos basura PER CAPITA: de 0,20 a 0,9 Kg/hab.- d.

3.4.1. TASA COMBINADA DE GENERACIÓN DE BASURAS

La producción PER CAPITA de basura se refiere a los residuos domésticos generados en una ciudad, por lo que para determinar la producción de RSU hay que considerar a los residuos procedentes de otras fuentes como: limpieza de calles, parques, etc.

A la suma de estos valores se denomina tasa de generación de basuras urbanas.

En el área de estudio se determino que existe una tasa de generación de basuras urbanas 0,52 Kg / hab.- d, que resulta del principio aplicado por Cendes, referente al estudio realizado en la ciudad de Guayaquil (2), que toma en consideración los valores siguientes:

Cantidad de residuos sólidos

Recolectados por día: 33.200kg/d

Población de la ciudad: 63.864 hab.

Tasa de generación de

Basuras urbanas: $\frac{33.200 \text{ Kg/d}}{63.864 \text{ hab.}} = 0,52 \text{ Kg/ hab.-d}$

3.42. PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Para la proyección de la producción se estimara un crecimiento poblacional del 1,67% anual, con una taza de generación de basuras del 0,52 Kg/hab.- d.

TABLA 17

**PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS**

Población proyectada		Producción de residuos sólidos	
Tasa de crecimiento poblacional (1,67%)		Tasa de generación de basuras	Producción
año	Población (hab.)	Kg/hab.- d	Kg/d
2.001	63.864	0,52	33.209,28
2.002	64.931	0,52	33.764,12
2.003	66.015	0,52	34.327,80
2.004	67.117	0,52	34.900,84
2.005	68.238	0,52	35.483,76
2.006	69.378	0,52	36.076,56
2.007	70.544	0,52	36.682,88
2.008	71.722	0,52	37.295,44
2.009	72.920	0,52	37.918,40
2.010	74.138	0,52	38.551,76
2.011	75.376	0,52	39.795,52

Existe una información muy importante del censo del año de 1.990, en cuanto al sistema de eliminación de residuos sólidos del cual se detalla a continuación:

TABLA 18

MÉTODOS DE ELIMINACIÓN POR VIVIENDA.

Sistema de eliminación de residuos sólidos			
En carro recolector	En terreno baldío o quebrada	Por incineración o entierro	Otra forma
4.586 vi.	1.385 vi.	3.259 vi.	385 vi.

Es fácil deducir que los 4.586 viviendas represento en aquella época el 47,72% de cobertura, esta situación ha variado en los

últimos 10 años lográndose coberturas que sobrepasan el 70%: esto depende básicamente de la gestión que realizan los alcaldes de turno a favor de la comunidad que representan. En base a la producción promedio de residuos sólidos podemos estimar la producción a favor de la cobertura propuesta.

5. COMPOSICION DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA LIBERTAD

Lo mismo que en cuanto a las cantidades producidas numerosos factores influyen en la composición y características de los residuos sólidos urbanos como: el carácter del conjunto, zona urbana o zona industrial, el clima y la estación, el tipo de habitad y el nivel de vida de la población, siendo estos factores los que en definitiva determinan las características propias de los RSU para cada ciudad.

3.5.1. CLASIFICACION

Los residuos sólidos urbanos, siendo esencialmente heterogéneos, es necesario definirlos como una composición que reagrupe a los elementos constituidos en categorías que presenten una cierta homogeneidad. El numero de estas categorías depende del objeto buscado, de ahí que pueden adoptarse distintas clasificaciones de dichos elementos, como

la que a continuación se detalla, muy aplicadas para realizar los análisis de los RSU (14).

- Hullas inferiores a los 20mm.
- Papeles y cartones.
- Trapos.
- Plásticos.
- Huesos.
- Desechos combustibles no clasificados.
- Metales.
- Vidrios.
- Desechos incombustibles no clasificados.
- Materias fermentables.

De la clasificación detallada anteriormente se deriva una clasificación mas general dividida en cinco grandes categorías:

- Hullas inferiores a los 20mm.
- Materias especialmente **combustibles**(trapo, plásticos, huesos, maderas).
- Materias mas especialmente fermentables (toda materia vegetal putrescible, todo residuo de cocina, frutas, legumbres, carnes, etc).

- Papeles y cartones.

3.5.2. MUESTREO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Cuando se haga una operación de muestreo, será conveniente elegir un cierto número de lugares de producción, de forma tal que la reunión de las muestras tomadas en los distintos sitios constituya una buena representación del conjunto, debiendo conservarse siempre el mismo origen de RSU analizados.

En las ciudades más grandes, en las que el número de itinerarios de recogida es importante se eligen unos cuantos de ellos, de forma que cada muestreo será así, al comenzar las operaciones el contenido de un camión entero será analizado, es lo que se hace en París (14), donde se selecciona de un 2 a 4 % de los itinerarios.

En las localidades de dimensiones más **pequeñas**, cada muestra podrá no corresponder más que a una fracción del contenido del camión recolector, pero el principio permanecerá siendo el mismo: cada toma se hará de una zona caracterizada, lo esencial es efectuar tomas suficientemente bien distribuidas en función de las características de los lugares de producción.

3.5.3. IMPLANTACIÓN DEL MUESTREO EN EL AREA DE ESTUDIO

Para conocer y determinar la composición de los RSU en La Libertad se analizo una muestra diaria durante 7 días, el muestreo se realizo en el vertedero municipal escogiendo una muestra de 100 Kg del contenido del camión recogedor de basura.

Una vez realizadas las tomas, el método practico podría ser el siguiente:

La fracción escogida del camión, se la separa en una superficie plana libre de residuos, este contenido se da vuelta manualmente con una pala , seguidamente se saca una muestra de 100 Kg, para luego realizar la clasificación de los diversos constituyentes y determinar su porcentaje en peso, para tal efecto se realizo una clasificación que en cierto modo representa las características de los RSU analizados. Durante la operación se obtienen los siguientes elementos agrupados en una clasificación mas general.

- Materiales orgánicos (resíduos de comida y papel)
- Cartones
- Metales ferrosos

- Plásticos
- Vidrios.
- Misceláneos.

La tabla 19 representa el formato utilizado para condensar los valores obtenidos.

TABLA 19
FORMATO DE INFORMACIÓN

Composición de residuos sólidos urbanos		
Muestra	Ubicación: vertedero municipal	
Hora: 10.00 AM		
Fecha:	Peso total (Kg)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos		
Cartones		
Plásticos		
Metales		
Vidrio		
Misceláneos		

Los resultados de las muestras analizadas se presentan en la tabla 20 al 26.

TABLA 20**RESULTADO DE LA MUESTRA # 1**

Composición de residuos sólidos urbanos		
Muestra # 1 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100 Kg Fecha: 7/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total (Kg.)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	61,50	61,50
Cartones	12,85	12,85
Plásticos	14,80	14,80
Metales	8,35	8,35
Vidrio	1,50	1,50
Misceláneos	1,00	1,00

TABLA 21**RESULTADO DE LA MUESTRA # 2**

Composición de residuos sólidos urbanos		
Muestra # 2 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100 Kg Fecha: 8/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total (Kg.)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	65,70	67,70
Cartones	10,30	10,30
Plásticos	10,00	10,00
Metales	4,32	4,32
Vidrio	5,28	5,28
misceláneos	4,40	4,40

TABLA 22**RESULTADO BE LA MUESTRA # 3**

Composición de residuos sólidos urbanos		
Muestra # 3 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100 Kg Fecha: 9/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total (Kg.)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	67,10	67,10
Cartones	10,20	10,20
Plásticos	9,70	9,70
Metales	5,50	5,50
Vidrio	4,30	4,30
misceláneos	3,20	3,20

TABLA 23**RESULTADO DE LA MUESTRA #4**

Composición de residuos sólidos urbanos		
Muestra # 4 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100Kg Fecha: 10/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total (Kg.)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	75,35	75,35
Cartones	15,30	15,30
Plásticos	4,70	4,70
Metales	1,80	1,80
Vidrio	1,95	1,95
misceláneos	0,90	0,90

TABLA 24**RESULTADO DE LA MUESTRA # 5**

Composición de residuos sólidos urbanos

Muestra # 5 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100 Kg Fecha: 11/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total {Kg.}	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	51,48	51,48
Cartones	18,90	18,90
Plásticos	14,82	14,82
Metales	8,45	8,45
Vidrio	2,43	2,43
misceláneos	3,92	3,92

TABLA 25**RESULTADO DE LA MUESTRA # 6**

Composición de residuos sólidos urbanos

Muestra # 6 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100 Kg Fecha: 12/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total (Kg.)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	66,75	66,75
Cartones	7,54	7,54
Plásticos	15,91	15,91
Metales	1,78	1,78
Vidrio	1,92	1,92
Misceláneos	6,10	6,10

TABLA 26

RESULTADO DE LA MUESTRA 7

Composición de residuos sólidos urbanos		
Muestra # 7 Hora: 10.00 A.M. Peso: 100 Kg Fecha: 13/5/2.001	Ubicación: vertedero municipal	
	Peso total (Kg.)	Porcentaje en peso
Residuos orgánicos	48,50	48,50
Cartones	30,25	30,25
Plásticos	12,50	12,50
Metales	1,75	1,75
Vidrio	2,90	2,90
misceláneos	4,10	4,10

En la cual se ve claramente que la composición mas alta es la de residuos orgánicos (residuos de comida y papel) materiales putrescibles, composición predominante en comunidades pequeñas.

TABLA 27

PROMEDIO DE LAS MUESTRAS.

Composición	# de muestra (% en peso)							Promedio (%)
	1	2	3	4	5	6	7	
Residuos orgánicos	61,50	65,70	67,10	75,35	51,48	66,75	48,50	62,34
Cartones	12,85	10,30	10,20	15,30	18,90	7,54	30,25	15,05
Plásticos	14,80	10,00	9,70	4,70	14,82	15,91	12,50	11,78
Metales	8,35	4,32	5,50	1,80	8,45	1,78	1,75	4,56
Vidrio	1,50	5,28	4,30	11,95	2,43	1,92	2,90	2,90
Misceláneos	1,00	4,40	3,20	0,90	3,92	6,1	4,10	3,37

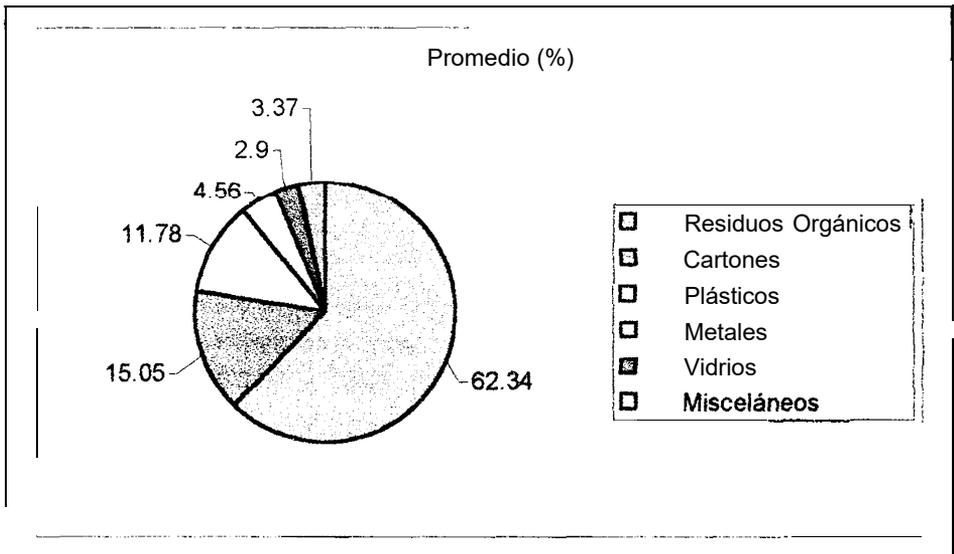


Figura 3.1 Promedio del Muestreo

Este promedio nos será útil para proyectar la producción de residuos orgánicos tomandocomo referencia la tabla 17. La tabla 19 presenta la proyección de los RO realizada tomando como referencia la composición porcentual peso del muestreo realizado en el área de estudio (tabla 27).

TABLA 28

POYECCION DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS ORGANICOS

Año	Producción (Kg/d) RSU	Porcentaje peso	Producción (Kg/d)
2.001	33.209,28	62,34	20.702,49
2.002	33.764,12	62,34	21.048,55
2.003	34.327,80	62,34	21.399,95
2.004	34.900,84	62,34	21.757,18
2.005	35.483,76	62,34	22.120,58
2.006	36.076,56	62,34	22.490,13
2.007	36.682,88	62,34	22.868,11
2.008	37.295,44	62,34	23.249,98
2.009	37.918,40	62,34	23.638,33
2.010	38.551,76	62,34	24.033,17
2.011	39.195,52	62,34	24.434,49

CAPITULO 4

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ANAERÓBICO

4.1. LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

En la naturaleza, existen microorganismos conocidos como bacterias, las cuales se alimentan de residuos orgánicos o putrescibles como los señalados anteriormente. Estos microorganismos se desarrollan en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno (6) y al alimentarse con residuos orgánicos la transforma en gas (biogás) y en un lodo (bioabono) rico en nutrientes que puede ser empleado como abono, incluso como alimento de animales.

La transformación de los residuos orgánicos en biogás, es ciertamente un proceso complicado, pues las bacterias requieren de un ambiente muy especial, primeramente para sobrevivir y luego para multiplicarse hasta alcanzar una población suficiente para que su acción sea apreciable.

Las condiciones que se requieren son las siguientes:

- La ausencia de aire, para cumplir con el requisito de condición anaerobia que permite la supervivencia de los microorganismos.
- las características del medio, donde crecen y se multiplican las bacterias, aquí es importante destacar lo siguiente:

Composición de los residuos rango C:N; el trabajo que realizan las bacterias, así como la diversidad de ellas, obliga una dieta muy balanceada. Un análisis químico de las bacterias demuestran la presencia de carbón, oxígeno, hidrógeno, potasio, fósforo, sodio: magnesio, calcio, azufre, esta formidable lista de elementos a mas de los compuestos orgánicos son esenciales para el crecimiento de las bacterias anaeróbicas.

Una dieta bien balanceada debe tener medianas cantidades de nutrientes como son fósforo y nitrógeno. El nitrógeno es el mas importante ya que es el nutriente que limita el crecimiento de las bacterias y por lo tanto la eficiencia de producción de biogás. El nitrógeno se presenta en los residuos en muchas formas químicas, no todas las cuales son aprovechables, están como proteínas, nitratos y amoniaco.

El carbono que es utilizado como fuente de energía esta en los carbohidratos. Muchos estudios han concluido que la relación optima carbono nitrógeno (C:N) esta en el orden 30:1 , esta relación representa la proporción de los 2 elementos: puede variar hasta una relación 15:1(6), y no solamente limita la producción de biogás, si no también el contenido de metano en el mismo.

En conclusión la poca cantidad de nitrógeno en los residuos orgánicos influye en la producción de bacterias, por el contrario, si el nitrógeno presente en la biomasa se encuentra en cantidades excesivas, existirá el medio propicio para la formación de amonio el cual inhibe y paraliza la producción de biogás.

En el cuadro 29 podemos ver la relación carbono nitrógeno (C:N) de residuos orgánicos utilizados en la producción de biogás.



CUADRO 29

RESIDUOS ORGÁNICOS RELACIÓN C:N

Material	Relación C: N
Estiércol de Vacunos	16 – 20
Estiércol de Cerdo	15 – 20
Estiércol gallina	6 - 7
Estiércol de Caballo	25
Desechos de Mataderos	2
Tallos de Trigo	128
Aserrín	200 – 500
Rastrojo de Maíz	53

FUENTE: ICAITI 1.983

Conociendo la composición de los residuos en cuanto a carbono y nitrógeno, y la disponibilidad de los mismos se puede calcular las proporciones a mezclarse de residuos para conseguir un rango carbono nitrógeno apropiado y así obtener una buena digestión anaeróbica.

Tamaño de partículas: los sólidos en el biodigestor deben estar en pequeñas partículas para que el trabajo de las bacterias sea mas fácil y completo.

Cuando los sólidos son pequeños , se mantienen mas tiempo en suspensión permitiendo que la superficie de contacto de los sólidos con las bacterias sea mayor, que si los sólidos se sedimentaran en el fondo del digestor:

Tiempo de retención: es una parte fundamental del proceso y representa el tiempo promedio durante el cual la materia orgánica es atacada por los microorganismos.

El tiempo de retención estará en función de las necesidades de los residuos orgánicos.

Un biodigestor está fuertemente ligado a la temperatura de operación, ya que al trabajar a temperaturas altas, los tiempos de retención se reducen al conseguirse mayores velocidades de producción, aprovechándose mejor el volumen del biodigestor y obteniéndose además una mayor cantidad de biogás por kilogramo de residuo orgánico procesado.

Hay un tiempo de retención mínimo, que refleja la habilidad de las bacterias a consumir los residuos orgánicos y reproducirse. Si el tiempo de retención es menor que el mínimo las bacterias generalmente bajan la eficiencia de la digestión.

Inhibidores: un número de sustancias pueden ser **tóxicas** e inhibir el proceso de digestión anaeróbica. Esta toxicidad actúa en la inhibición

del crecimiento bacteriano reduciendo hasta cero la producción de biogás.

El amoníaco es el principal inhibidor de las bacterias metano génicas por eso es necesario que la relación C:N se encuentre siempre en el rango óptimo de operación.

Los inhibidores mas comunes son algunos metales como el zinc, plomo, mercurio, cobre, sodio, potasio, calcio y magnesio. Otro serio problema es la presencia de sulfitos: este es fácilmente detectable por su olor a huevos podridos.

Hay que destacar que la capacidad de la actividad de inhibición biológica dependerá de su concentración, en general cuando las sustancias están presentes en pequeñas cantidades pueden estimular la digestión, especialmente si estas son necesarias en pequeñas cantidades para el crecimiento bacteriano.

En la tabla 30 se presentan las concentraciones de algunos elementos que inhiben el proceso anaeróbico.

TABLA 30**ELEMENTOS INHIBIDORES**

Inhibidores	Rango (mg / lt)
Sodio	3.500 – 5.500
Potasio	2.500 – 4.500
Calcio	2.500 4.500
Magnesio	1 .000 – 1.500
Cobre	100
Cloruro de Sodio	40.000

FUENTE: ICAITI, 1.983

Temperatura: la temperatura afecta diariamente las condiciones de un proceso controlado por crecimiento bacteriano. Por consiguiente las condiciones climáticas del litoral ecuatoriano son favorables para realizar proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos para la obtención de biogás.

Pero no solo es importante la temperatura del medio, sino la temperatura en la que se encuentra la biomasa en el interior del digestor, que es ideal entre 21 y 40 °C, porque es el nivel en las cuales las bacterias se desarrollan efícientemente. Cuando el nivel de la temperatura de la biomasa esta por arriba o por abajo del rango de la temperatura óptima, el desarrollo de las bacterias del medio y el crecimiento de las mismas se ve perjudicado provocando la

disminución de la población bacteriana, y por ende una baja producción de biogás.

Es importante señalar que las bacterias responsables de la digestión anaeróbica realizan su labor en un amplio rango de temperatura: Psicofilo (medio frío), **Mesofilo** (medio tibio), y Termofilo (medio caliente).

PSICROFILO

La bacteria sobrevive en el rango de 0 a 5 °C, pero la producción de biogás es insignificante, por este motivo el digestor tendrá que calentarse por medios externos para mejorar su productividad, destacando que la utilización de cualquier medio puede no ser rentable.

MESOFILO

La digestión Mesofílica es la mejor alternativa , su temperatura esta entre 21 y 40°C; es bastante baja para ser mantenida fácilmente y la bacteria no es sensible a cambios de temperatura, su temperatura optima esta entre 30 y 35°C.

TERMOFILICO

Este rango no es recomendado para un digestor que use una tecnología simple. Su temperatura esta entre 40 y 60°C , su optima entre 50 y 55°C. Se requiere mantener mas energía en el digestor: además esta bacteria es mas sensitiva a los cambios bruscos de temperatura. La ventaja de la generación Termofila es que el gas cuyo potencial esta en el substrato (residuos orgánicos), se generara mas rápidamente; sin embargo, no se incrementa la producción total de gas, es decir la misma cantidad de gas se producirá a 21 o 60°C.

El ahorro de tiempo llega a ser el ahorro de espacio ya que a altas temperaturas mas gas se produce por día por cada unidad de volumen del digestor, en otras palabras, un digestor de volumen pequeño maneja la misma cantidad de substrato a altas temperaturas, que un digestor de mayor volumen a bajas temperaturas.

Para una producción de biogás a gran escala la digestión Termofilica no es rentable, ya que el costo de calentamiento igualara o excederá a la energía ganada en biogás.

Substrato: se designa con este termino al material (residuo orgánico) que se procesa dentro del biodigestor. Como substrato pueden emplearse gran variedad de materiales orgánicos ya sea este de

origen animal o vegetal, ya sea solo o combinados, los materiales se diluyen con agua en proporción 1 a 1 (una parte de residuo orgánico con una parte de agua) para producir la mezcla que se introducirá en el biodigestor.

Entre los materiales orgánicos de origen animal los mas frecuentemente usados son estiércoles de origen vacuno y porcino. Pueden usarse excretas humanas como substrato, aunque deben tomarse precauciones especiales para impedir que las personas que las manejan entren en contacto directo con ellas, es importante señalar que dentro de los residuos vegetales los mas usados están los provenientes del maíz, arroz, trigo, café y hortalizas.

Grado de acidez: es el principal parámetro a controlar durante el proceso de producción de biogás, es necesario que el valor del ph existente en la biomasa (substrato + agua) no sea muy ácido o muy alcalino, es recomendable que este entre 6,5 y 7,5 porque cualquiera de los dos extremos trae perjudiciales resultados y consecuencias negativas como es la muerte de las bacterias.

Cuando comienza la biodigestión se realiza un desequilibrio en el ph de la biomasa, esto puede arreglarse añadiendo bicarbonato de sodio

de 50 a 100 gramos por cada 1m³ de biomasa, solo se debe usar bicarbonato en casos muy necesarios.

4.2.PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Como se detallo en el literal 4.1 el principal producto de la digestión anaeróbica es el biogás que esta constituido en grandes porcentajes por metano y dióxido de carbono, otro producto que se obtiene como residuo es un lodo rico en nutrientes, denominado bioabono.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL BIOABONO

El residuo que resulta de la digestión anaeróbica recibe el nombre de bioabono, es un lodo rico en nutrientes, especialmente nitrógeno, además presenta un ph elevado que le da las cualidades de un abono orgánico de calidad comparable con los tradicionales abonos utilizados en el campo, como la gallinaza o el estiércol de res.

Entre las bondades del bioabono podemos mencionar las siguientes:

- Es un excelente humus, que mejora las propiedades del suelo.

- Absorbe mejor y mas rápidamente el agua lluvia evitando la erosión y conservando la humedad del suelo por mas tiempo.
- Mejora la porosidad del suelo permitiendo mejor aireación en zonas exploradas por las raíces facilitando su respiración y su crecimiento.
- Su aplicación al suelo es fácil.
- No produce emanación de olores, debido a la digestión anaeróbica.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

Se llama biogás a la mezcla gaseosa que se produce por la descomposición de residuos orgánicos en condiciones anaeróbicas.

Por su alto poder calorífico se lo usa frecuentemente en estufas, en los motores de explosión para la conversión en energía mecánica, en lámparas para alumbrado etc.

La composición química típica del biogás viene dada en la tabla

Tabla 31

Composición química del biogás

Compuesto	Porcentaje(%)
Metano (CH ₄)	55 - 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2 - 4
Nitrógeno (N ₂)	0,5 - 3
Hidrógeno(H ₂)	2 - 6,9
sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0,1

Fuente: ICAITI, 1.983

Como puede verse, un elevado porcentaje de la composición corresponde al metano (CH₄), el cual es un gas combustible permitiendo el empleo del biogás con fines energéticos , en consecuencia debe ser manejado en forma adecuada a fin de reducir los riesgos que implican el manejo de un combustible de esta naturaleza.

La tabla 32 presenta las propiedades mas importantes del biogás con relación al metano.

TABLA 32**COMPARACIÓN DE PROPIEDADES BIOGÁS – METANO**

propiedades	metano	biogás
Densidad $^{\circ}\text{C}$ y 1at. (gr/lit)	0,7167	1,2207
Gravedad específica (relativa al aire)	0,55	0,93
Rango explosivo (% en volumen con aire)	5,15	6 – 12
Viscosidad (centipoises)	0,011	10,013
Poder calorífico (Kcal/m ³)	9.000	4.500 -6.500

Es fácil intuir que por su elevado poder calorífico el biogás puede emplearse con cierta ventaja para reemplazar a combustibles tradicionales que cumplen la misma función.

La equivalencia energética del biogás con otros combustibles viene detallada en la tabla33.

Tabla 33**Equivalencia energética del biogás**

biogás	Combustible (equivalencia)
1 m ³	0,16 litros de gasolina
1 m ³	0,18 litros de diesel
1 m ³	0,89 Kg de leña
1 m ³	1,25 Kw – h de energía eléctrica

FUENTE: ICAITI, 1.983

4.3. PRODUCCION ESTIMADA DE BIOGÁS

La materia prima (substrato) a ser utilizada la constituye la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, para el presente año tenemos una producción anual estimada de 7'556.408,85 Kg (tabla 35) de material potencialmente aprovechable para la obtención de biogás y bioabono.

Para cuantificar las cantidades de biogás y bioabono que se generan en la biodegradación, haremos uso del principio de conservación de masa así como el factor que indica que 1000Kg de residuos orgánicos generan 140m³ (4) de biogás: valor obtenido por investigadores en Europa y otros lugares del mundo.

Datos útiles:

1000Kg de residuos orgánicos producen 140m³ de biogás.

Mezcla ideal: 1 Kg de agua por cada 1 Kg de residuo orgánico.

Temperatura promedio del medio 30°C(303°K).

Presión: 1 at

Densidad del agua: 1 000Kg/m³

Ecuación # 1 $M_i = M_o$

Donde:

M_i : masa que entra

M_o : masa que sale

Ecuación # 2 $M_a + M_{ro} = M_{bg} + M_{ba}$

Donde:

M_a : masa del agua

M_{ro} : masa del residuo orgánico

M_{bg} : masa del biogás

M_{ba} : masa del bioabono

En la ecuación # 2 para hallar M_{ba} , habrá que expresar la masa del biogás en función de la densidad y el volumen, entonces:

Ecuación # 3 $D_{bg} = M_{bg} / V_{bg}$

Donde:

D_{bg} : densidad del biogás

M_{bg} : masa del biogás

V_{bg} : volumen del biogás

Reemplazando la ecuación # 2 en la ecuación # 3 obtenemos:

Ecuación # 4 $M_a + M_{ro} = (D_{bg} \times V_{bg}) + M_{ba}$

La densidad la encontramos asumiendo que este se comporta como un gas ideal, en tal efecto haremos uso de la ecuación de estado expresada en función de la densidad:

Ecuación # 5 $D = (M \times P) / (R \times T)$

Donde:

D: densidad expresada en gr / lt

M: peso molecular expresada en gr / mol

P: presión termodinámica expresada en at

R: constante de los gases 0.082 lit – at / °K

T: temperatura expresada en ° K

Adicionalmente para encontrar el peso molecular (M) de una mol de biogás nos remitiremos a la tabla 31, escogiendo una composición de acuerdo a las condiciones del proyecto

Tabla 34

Peso molecular del biogás

Composición del biogás		Peso molecular (gr)	Peso molecular del Compuesto en el biogás (gr)
compuesto	% en peso		
CH4	55	16	8,800
co2	35	44	15,400
N2	3	28	0,840
H2	6,9	2	0,138
H2S	0,1	34	0,034
Peso de una mol de biogás (gr/mol)			25,212

Luego en la ecuación # 5 reemplazamos las condiciones asumidas:

$$D = (25,212 \times 1) / (0,0082 \times 303)$$

$$D = 1,015 \text{ gr / lit } (1,015 \text{ Kg / m}^3)$$

Calculado el valor de la densidad reemplazamos los valores conocidos en la ecuación # 4:

$$1000 \text{ Kg} + 1000 \text{ Kg} = (1,015 \text{ Kg / m}^3) \times 140 \text{ m}^3 + M_{ba}$$

$$2.000 \text{ Kg} = 142,1 \text{ Kg} + M_{ba}$$

$$M_{ba} = 1857,9 \text{ Kg}$$

Es decir que con 1 .000 Kg de residuos orgánicos se producen 140 m³ de biogás y 1857,9 Kg de bioabono.

En la tabla 35 se condensan las producciones estimadas de biogás y bioabono que toma como referencia la producción estimada de residuos sólidos (tabla 28).

$$P_{cb} / P_{cg} = 6.403,9 / 12.557,6 = 0,510$$

$$P_{cb} = 0,510 P_{cg}$$

Estableciendo la relación directa entre el poder calorífico del combustible y su costo obtenemos:

$$C_b = 0,510 C_g$$

Si C_g actual es de 0,11 dólares / Kg

$$C_b = 0,510 \times 0,11 = 0,0561 \text{dólares / Kg}$$

Para estimar el costo del biogás en los años posteriores se tomara un incremento del costo anual alrededor de un 25%, aunque este valor no obedece a un comportamiento real de incremento debido principalmente a la inestabilidad política del país, sinceramiento de la economía y reducción de subsidios a los combustibles de uso domestico.

PURIFICACION DEL BIOGAS

Como establece la tabla 31 el biogás se compone de una mezcla de gases como metano (CH_4) y dióxido de carbono en mayor proporción, y de nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2), y sulfuro de hidrógeno (H_2S) en proporciones menores.

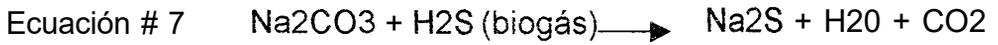
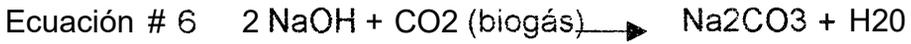
De los gases mencionados anteriormente la técnica recomienda eliminar o reducir en forma económica los gases no combustibles en el biogás para obtener mejores rendimientos en cuanto uso y aprovechamiento se refiere, para lo cual será necesario conocer el volumen de biogás disponible y el uso final que se le dará al mismo.

Hay que anotar que desde el punto de vista práctico no es aconsejable el procurar eliminar los gases no combustibles por cuanto encarece el proceso de producción.

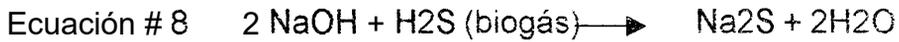
Generalmente la técnica recomienda eliminar el sulfuro de hidrógeno aunque su concentración sea muy baja en el biogás (alrededor del 1%), por ser un gas altamente corrosivo, sin embargo hay que tener presente que dependiendo del uso que se le da al biogás, se deberá analizar la necesidad y los costos que implican eliminar el sulfuro de hidrógeno en el gas antes mencionado.

Existen varios métodos para poder eliminar el contenido de sulfuro de hidrógeno en el biogás, siendo el más utilizado aquel que determina que el biogás se deberá hacer burbujear en una solución de hidróxido de sodio (**NaOH**) al 10%.

Las ecuaciones estequiométricas # 6 y 7 debidamente balanceadas explican en forma detallada el proceso químico que se genera al hacer burbujear el biogás en una solución de hidróxido de sodio al 10%.



Sumando las ecuaciones # 6 y # 7 se obtiene:



Lo que significa que dos moles de hidróxido de sodio reaccionan con un mol de sulfuro de hidrógeno.

2 Mol de NaOH reaccionan con 1 mol de H₂S

Además : un 1 mol de biogás contiene aproximadamente 0,034 gr de H₂S (asumiendo que el contenido de H₂S es del 1% tabla 31).

1 mol de NaOH = 40gr

1 mol de H₂S = 34gr

Como en el literal 4.3 se asumió que el biogás se comporta como un gas ideal entonces 1 mol de biogás ocuparan siempre un volumen de 22,4 lt.

Entonces:

22,4 lt (biogás) \blacktriangleright 0,03 gr (H₂S)

1, m³ (biogás) \longrightarrow x= 1,52 grde H₂S

De acuerdo a la ecuación # 8:

34 gr de H₂S reaccionan con 80 gr de NaOH

1,52 gr de H₂S reaccionan con X = 3,58 gr de NaOH

Como la solución es al 10% de NaOH, 3,58 gr (0,00358 Kg) serán de NaOH y 32,2 cm³ (0,0000322 m³)serán de agua: siendo estas las cantidades requeridas para purificar un 1 m³ de biogás.

En la tabla 36 se muestran las cantidades requeridas de NaOH y agua para purificar la producción proyectada de biogás.

TABLA 36**CONSUMO DE NAOH Y AGUA PARA PURIFICAR LA PRODUCCIÓN
PROYECTADA DE BIOGÁS**

Año	Producción anual de biogás (m ³)	Consumo anual	
		NaOH (Kg.)	Agua (m ³)
2.001	1'057.897,24	3787,27	34,06
2.002	1'075.580,91	3850,58	34,63
2.003	1'093.537,45	3914,84	35,21
2.004	1'111.791,89	3980,21	35,80
2.005	1'130.361,64	4046,69	36,39
2.006	1'149.245,64	4114,29	37,00
2.007	1'168.560,42	4183,45	37,63
2.008	1'188.073,98	4253,30	38,26
2.009	1'207.918,66	4324,35	38,89
2.010	1'228.094,99	4396,58	39,54
2.011	1'248.602,44	4469,99	40,20

CAPITULO 5

5. DIGESTORES : GENERALIDADES Y CALCULO

5.1 TIPOS DE DIGESTORES

En general en un digestor se introduce una mezcla (substrato + agua) cuyo ingrediente principal es el residuo orgánico, este material permanece en el interior del digestor durante un lapso dado (tiempo de retención), transcurrido el cual ha liberado el biogás, cuando ya ha ocurrido esto se retira el efluente (bioabono), mediante una operación de descarga.

Básicamente existen varios diseños de digestores , el diseño chino denominado Dome, el diseño hindú denominado Gobar pudiendo ser ambos de carga **continua** o discontinua.

El de carga discontinua es que una vez cargado se lo cierra hasta que termine el ciclo de producción de biogás, momento el cual es

destapado y limpiado para ser vuelto a cargar e iniciar el proceso descrito anteriormente.

El de carga continua es aquel que posee dispositivo de alimentación y dispositivo de retirada . Por medio del dispositivo de alimentación se carga el digester continuamente todos los días durante el tiempo de retención y se retira el material ya digerido (efluente) por el dispositivo de retirada.

A partir de los diseños hindú y chino es que se han diseñado diversas variantes; siendo estos de diseño horizontal, vertical, circular, rectangular y combinaciones de ellos, inclusive con implementación de intercambiadores de calor para mantener una temperatura constante y de esta manera favorecer el desarrollo y existencia de las bacterias requeridas para la digestión anaeróbica, llegando inclusive a **diseños** mas sofisticados que son complementados con termómetros para control de temperatura de digestión, medidor de ph para controlar el estado ácido y básico de los residuos orgánicos en digestión, manómetros de presión para controlar la presión de los gases en producción, quemadores de seguridad para quemar el exceso de gas producido, dispositivos mezcladores de los residuos orgánicos diluidos, e inclusive bombas recirculantes de la materia ya digerida.

5.2. **PARAMETROS DE DISEÑO**

El tipo de digester que conviene elegir depende básicamente de los parámetros siguientes:

- **Material orgánico disponible:** potencialmente se pueden incluir excretas de animales, desperdicios agrícolas, la fracción orgánica de los residuos sólidos, o cualquier material que pueda ser digerido para la producción de biogás.
- **Demanda de biogás:** la medida de la unidad generadora de biogás depende de la necesidad de combustible que se necesite. El requerimiento de producción total puede ser determinado especificando las aplicaciones para las cuales el biogás será utilizado: y sumando las cantidades de biogás para cada caso.
- **Tiempo necesario:** para realizar la digestión anaeróbica, el tiempo de retención será más corto si el digester es calentado, en el caso de digestores pequeños no será prudente incorporar calentamiento debido al mantenimiento requerido, podría sin embargo ser considerado la calefacción **solar**.
- **Volumen del digester:** el volumen mínimo del digester puede ser determinado multiplicando el tiempo de retención por el volumen de la mezcla a ser añadida cada día para producir diariamente el volumen de gas deseado.

- Dimensiones del gasómetro: El volumen del gasómetro depende de la producción diaria y uso que se dará al biogás, y aprovechando la compresibilidad de los gases, este puede ser tan bajo alrededor del 5% del volumen de gas producido diariamente.

3. CALCULO DEL BIODIGESTOR EN EL AREA DE ESTUDIO

El calculo de las dimensiones del biodigestor es muy importante por ser el factor principal dentro del diseño de una planta de generación de biogás. Básicamente para realizar el calculo se toman en cuenta el tiempo de retención, y la cantidad de residuos orgánicos disponibles generados en un día, siendo los parámetros mencionados que nos permiten determinar el volumen del biodigestor.

El volumen del tanque digestor anaeróbico queda determinado por el volumen del material orgánico a procesar multiplicado por el tiempo de retención. Para el caso de que el biodigestor posea en su parte superior el gasómetro al volumen del biodigestor habrá que sumarle el volumen del gasómetro calculado para el diseño total, o por el contrario si posee el biodigestor un gasómetro separado, al biodigestor hay que darle una pequeña cámara de acumulación de gases que puede ser de alrededor de un 5% del volumen de diseño del biodigestor, entonces:

Ecuación # 9

$$V1 = V2 \times T$$

Donde:

V1: volumen del biodigestor en m³

V2: volumen del material orgánico (mezcla) añadido por día al biodigestor

T: tiempo de retención en días

Aprovechando las bondades del litoral ecuatoriano en cuanto a sus zonas costeras: donde se tienen temperaturas promedio anuales de entre 18 y 32°C se escogerá un tiempo de diseño igual a 30 días, El biodigestor tendrá una capacidad para procesar 24.434,49 Kg de residuos orgánicos que se producen diariamente (proyección año 2.011 tabla 28), y que debido a la relación 1:1 (9) habrá que añadirle 24.434,49 Kg de agua, entonces:

48.868,98 Kg de mezcla

$$V2 = \text{mezcla} = 48.868,98 \text{Kg} = 48,86898 \text{ m}^3$$

reemplazando los valores en la ecuación #9

$$V1 = 48,86898 \text{ m}^3 / \text{día} \times 30 \text{ días}$$

$$V1 = 1.466,069 \text{ m}^3$$

Generalmente los biodigestores se construyen de forma cilíndrica , entonces:

$$Vc = \Pi \times R^2 \times H$$

Donde:

V_c : volumen del cilindro en m^3

$$\Pi = 3,1416$$

R: radio del cilindro en m

H: altura del cilindro en m (= 6 m)

Como el volumen V_i encontrado, un biodigestor de tal volumen físicamente se lo podría construir pero por cuestiones prácticas y de sentido común no es recomendable manejar un solo biodigestor, entonces es recomendable construir una batería de biodigestores siendo el limitante la disponibilidad de terrenos, y los costos que implicarían su construcción y mantenimiento. La ventaja de usar baterías de biodigestores radica en que el gas que se genera en los biodigestores *utilizan un solo gasómetro.*

Al volumen de diseño tendrá que añadirse un 5% en volumen, que representa el espacio vacío para que se acumule el biogás dentro del biodigestor.

Como el biodigestor tendrá forma cilíndrica hay que procurar que la altura sea igual al diámetro de la base, con el fin de evitar la excesiva presión de la mezcla en el fondo del biodigestor y lo que es más importante permite el libre ascenso del biogás producido.



La tabla 37 presenta las variables consideradas para el dimensionamiento del biodigestor.

Tabla 39

VARIABLES DE DIMENSIONAMIENTO

# de biodigestores	Volumen Unitario (m ³)	Volumen Final (+5%) (m ³)	Radio (m)	Diámetro (m)	Relación H/D
15	97,74	102,62	2,33	4,66	1,29
14	104,72	109,96	2,41	4,82	1,24
13	112,77	118,41	2,50	5,00	1,20
12	122,17	127,28	2,60	5,20	1,15
11	133,27	139,93	2,72	5,44	1,10
10	146,61	153,94	2,85	5,70	1,05
9	162,89	171,03	3,01	6,02	0,99
8	183,25	192,41	3,19	6,38	0,94
7	209,44	219,91	3,4-i	6,82	0,88
6	244,34	256,56	3,68	7,36	0,82
5	293,21	307,87	4,04	8,08	0,74
4	366,52	384,85	4,51	9,02	0,67

El análisis de la tabla 37 nos permite seleccionar con claridad una batería de 9 biodigestores con volumen unitario final de 171,03 m³, diámetro igual a 6,02 metros y altura igual a 6 metros, que en términos de construcción son magnitudes que se tas puede manejar con relativa facilidad.

Para diseñar el gasómetro hay que tener presente una propiedad de los gases, que se traduce en ahorro significativo al momento de construir el gasómetro. La propiedad en mención es la compresibilidad que para efectos de diseño se asume que el biogás se comprime 10 su volumen, de la tabla 35 ($1'057897,24\text{m}^3/365$) tenemos un volumen diario de $2028,87\text{ m}^3$:

Se elige un gasómetro de forma cilíndrica entonces:

$$\text{Ecuación \# 10} \quad Vg = \Pi \times R^2 \times H$$

Donde:

$$|I| = 3,1416$$

Vg: volumen del gasómetro en m^3

R: radio en m

H: altura en m

Además con la condición que la altura sea igual al diámetro ($D = H$)

Reemplazando los valores en la ecuación **# 10** tenemos:

$$202,887\text{ m}^3 = \Pi \times R^3$$

$$R = 4,01\text{ m}$$

Entonces se construirá un gasómetro de forma cilíndrica con radio igual a **4,01 metros** y altura igual a **4,01 metros**, sumándole a la altura **0,20 m**

adicionales, siendo esta la diferencia máxima del nivel que alcance la base de la campana del gasómetro con respecto al nivel del agua. Es importante indicar que en cuanto al modelo del biodigestor este será una adaptación del modelo Hindú, Chino y OLADE.

En cuanto a los materiales de construcción se pueden utilizar materiales muy variados , dependiendo de la disponibilidad en el lugar de construcción y de las características del suelo.

En general deben emplearse materiales que no sean atacados por la corrosión y que además sean resistentes a las presiones producidas por el biogás.

Concreto tanto simple como reforzado se usa para construir los biodigestores.

El concreto posee características de buen aislante térmico, es fuerte , resistente al fuego, pero con la desventaja que pueden ser atacada por los ácidos que se forman en el interior del biodigestor, no requiere mantenimiento y su bajo costo lo hace asequible para su utilización.

En cuanto al gasómetro generalmente se construye de fibra de vidrio o laminas de hierro, tomando la precaución de usar pintura anticorrosiva o cualquier material que sirva de aislante para evitar la corrosión.

La fibra de vidrio tiene la ventaja de ser un material completamente resistente a la corrosión, fuerte muy versátil en su manejo, pero resulta extremadamente caro en cuanto al costo.

Los demás accesorios como tuberías, válvulas etc. Deberán ser de hierro o plástico, las tuberías de hierro son durables y resistentes a la abrasión, pero deben ser protegidas en contra de la corrosión. Los accesorios de plásticos están libres de corrosión, pero no soportan muchas presiones de trabajo.

5.4. PLANTA DE BIOGÁS : COSTOS DE INVERSIÓN

Hay que tener presente que para montar una planta de biogás, los costos dependen básicamente de la tecnología que en ella se use, así como también bien de los requerimientos de producción, teniendo presente que en términos ambientales no constituyen un gasto, sino una inversión que genera abundante ganancias ambientales.

De forma general los costos que deben ser tabulados, son los siguientes:

- Costo del terreno.
- Costo en la preparación del terreno.
- Costo de construcción del biodigestor
- Costo de construcción del gasómetro
- Costo del equipo de recolección de gases
- Costo del sistema de depuración de gases.
- Costo de los **accesorios**(tuberías, válvulas, etc.)
- Costos de las lagunas de oxidación para el caso de que la planta las posea en su diseño.
- Costo del personal **técnico** para el diseño y construcción.
- Costo de los diversos materiales a emplearse para obras de infraestructura.
- Costo de construcción del triturador de los residuos para alcanzar el tamaño deseado.
- Costo del agua.
- Costo de mano de obra: en supervisión de la planta.
Obreros de planta, tratamiento de efluentes
- Costo de energía para procesos: purificación de gases, calentamiento, mezcla, bombeo, compresión.
- Costos de químicos **para: purificación de gases**, control del ph del digestor, tratamiento de efluentes, desinfectantes para la planta y el personal.

CAPITULO 6

6. ANÁLISIS ECONOMICO

6.1 .PRODUCCION

La producción de biogás estará orientada al uso domestico, su potencial venta o comercialización generara ingresos que en parte servirán para financiar el proyecto en mención, tal como la detalla la tabla 38, esta fue realizada teniendo como base la producción estimada de biogás (tabla 35), el análisis descrito en el literal 4.4, y el valor de la densidad ($1,015 \text{ Kg / m}^3$) descrito en el literal 4.3.

Es importante señalar que la Planta de biogás esta diseñada para producir anualmente una cantidad considerable de biogás (tabla 35) , producción que se mantendrá en los años posteriores, no así el precio de venta, este variara anualmente alrededor de un 25%.

TABLA 38

VALOR ECONOMICO BEL BIOGÁS

AÑO	Pronóstico de ventas (Kg)	Precio de venta (DÓLAR / Kg)	Ingresos por ventas (DOLARES)
2.001	1'073.765,70	0,0561	62.238,26
2.002	1'091.714,62	0,0750	81.878,59
2.003	1'109.940,51	0,0938	104.112,42
2.004	1'128.468,77	0,1173	132.369,39
2.005	1'147.317,06	0,1466	168.196,68
2.006	1'166.484,32	0,1833	213.816,57
2.007	1'186.088,83	0,2291	271.732,95
2.008	1'205.895,09	0,2864	345.368,35
2.009	1'226.037,44	0,3580	438.921,40
2.010	1'246.516,41	0,4475	558.065,39
2.011	1'267.331,48	0,5594	708.945,23

6.2. INVERSION

Para poner en marcha el proyecto en mención se hará el análisis de la inversión para adquirir los activos fijos o tangibles necesarios para iniciar las operaciones de la planta.

Se propone un presupuesto aproximado de los costos de equipos, materiales y mano de obra correspondientes a los trabajos para el montaje de la planta, por conveniencia se ha dividido en tres grupos, los que se detallan a continuación:

Tanques: comprende los tanques para los biodigestores, tanques de mezcla y el gasómetro.

De la misma manera en la tabla 40 se propone un presupuesto preliminar que incluye todos los materiales, equipos y accesorios para montar la planta de biogás.

TABLA 40
PRESUPUESTO PRELIMINAR

TANQUES	VALOR (DOLARES)
Tanques para los biodigestores(9)	134.891,55
Tanques de mezcla (3)	30.339,33
Tanque para el gasómetro (1)	1.717
EQUIPOS	
Bomba para varios servicios (1)	730
Bomba para tanques de mezcla (3)	2.190
Montaje de bombas	78,20
ACCESORIOS Y TUBERIAS	
Línea de 4" (completa)	236,67
Línea de ½" (completa)	762,68
Montaje de accesorios de tuberías	78,20
TOTAL	1 80.092,61

Es importante señalar que los precios asignados a cada rubro corresponden a precios referenciales a la fecha de terminado el proyecto, y no deben ser considerados posteriormente como definitivos debido a la variación del mercado con respecto al tiempo.

6.3. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN CON RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN

A continuación se realiza el análisis respectivo de la instalación de la planta de biogás propuesta.

inversión del proyecto, aproximadamente: \$ 243.300,35

- Costo de la planta de biogás \$ 222.330,72
- Costo de oficinas y laboratorio \$10.000,00
- Costo del terreno (5.445,8 m²) sin valor (donado por el municipio).
- Costo del cerramiento perimetral \$ 10.969,63.

Los volúmenes de ventas para los primeros 5 años 5'551.206,6 Kg de biogás (tabla 38), con un valor comercial de \$ 548.795,34 y 21'798.545,51 Kg (tabla 35) de bioabono asumiendo que se ha deshidratado un 70%, con un valor comercial de \$871941,82 (se asumió el valor de \$ 0,04 cada Kg de bioabono), restándole a este valor el 50% que se asume para darle al bioabono valor agregado, lo que representa ingresos por \$ 435.970,91, dando un total final por la venta de ambos productos de \$984.766,25.

Esto implica que el retorno de la inversión la realizaremos antes de los 15 meses, por lo que tenemos una rentabilidad anual para nuestra inversión de $100 / 1,24 = 80,64\%$.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El agotamiento de las reservas de energía no renovables, justifica la realización de proyectos de este tipo, donde se aprovecha la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos con fines energéticos.

El aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos, persigue en el proyecto dos fines, por un lado obtener biogás, y por otro lado permite dar solución a los problemas sanitarios producidos por los residuos sólidos urbanos.

El muestreo realizado en el área de estudio nos permitió conocer la composición de los residuos, dándonos la pauta para la factibilidad de la aplicación de la tecnología anaeróbica.

En el capítulo 6 he demostrado que es económicamente factible instalar una planta de biogás. Como podemos analizar en el capítulo

en mención el retorno de la inversión se lo hará antes de los 15 meses, es importante señalar que el mantenimiento de plantas de biogás no resultan costosas.

Se recomienda aprovechar la temperatura de los trópicos, porque el biodigestor se adapta por si solo a la temperatura del medio ambiente, no así en los climas fríos donde los cambios de temperatura afectan la producción de biogás.

Si la demanda de gas se incrementa es recomendable aumentar la temperatura del biodigestor, con el fin de reducir el tiempo de retención, en estos casos es factible la utilización de la energía solar.

Es importante que los gobiernos de turno difundan la importancia de la tecnología anaeróbica a los pequeños y medianos municipios, con el fin de que estos dispongan de las herramientas necesarias para solucionar los problemas ambientales generados por la mala disposición de los residuos sólidos urbanos, y no solo eso, sino que se canalicen los recursos necesarios para instalar plantas de biogás.

El estudio en mención se debe complementar con uno que permita dar el tratamiento adecuado al efluente.

La planta debe estar localizada lo mas cerca posible de la fuente de producción de la materia prima, con el fin de disminuir los costos de transportación.

Se debe localizar la planta lo mas cerca a los lugares de consumo de biogás, con la finalidad de reducir costos y perdidas de presión en las tuberías.

Los gobiernos seccionales deben buscar líneas de crédito a través del BEDE, CAF, BID, que permitan financiar plantas de biogás.

APENDICES

LA DIGESTION ANAEROBICA: UNA REALIDAD

Tuve la oportunidad de visitar la escuela ELOY ALFARO ubicado en el caserío LA MOYA , parroquia GUASUNTOS, cantón ALAUSÍ, Provincia del Chimborazo, donde hace aproximadamente 20 años la ESPOL, a través de la Facultad de Ingeniería Mecánica construyó un aplanta de Biogás conformada por un biodigestor y un gasómetro independientes.



FIG #1: Alumnos de la Escuela Eloy Alfaro

Es importante señalar que la planta dejo de operar hace algunos años, siendo rehabilitada la misma por los directivos de la escuela en mención hace aproximadamente 3 años, y hoy en día se benefician alrededor de 60 niños que se educan en el plantel, pues el biogás que se obtiene del proceso anaeróbico es usado para preparar el desayuno y almuerzo escolar.

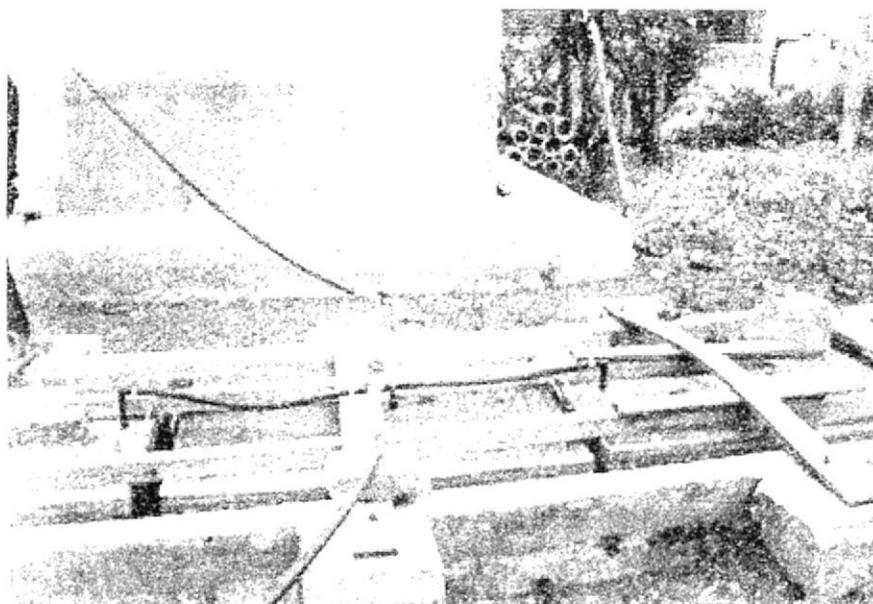


FIG #2: Vista panorámica del digestor.

Hay que destacar que la rehabilitación fue posible también a la ayuda brindada por los padres de familia, pues ellos son los encargados de recoger las excretas de los animales que habitan en la zona, para luego preparar la mezcla y cargar el biodigestor.

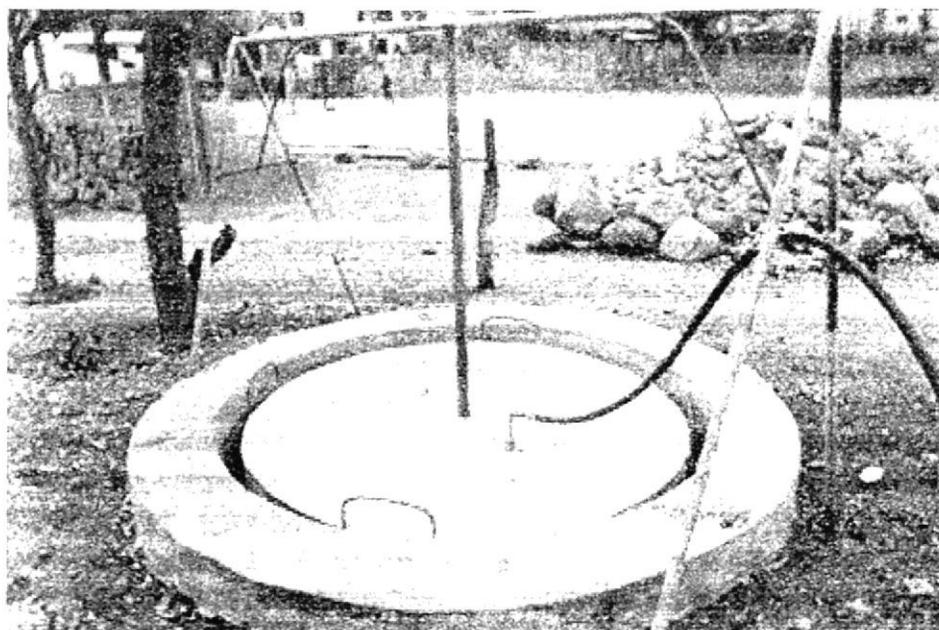


FIG #3: Vista panorámica del Gasómetro.

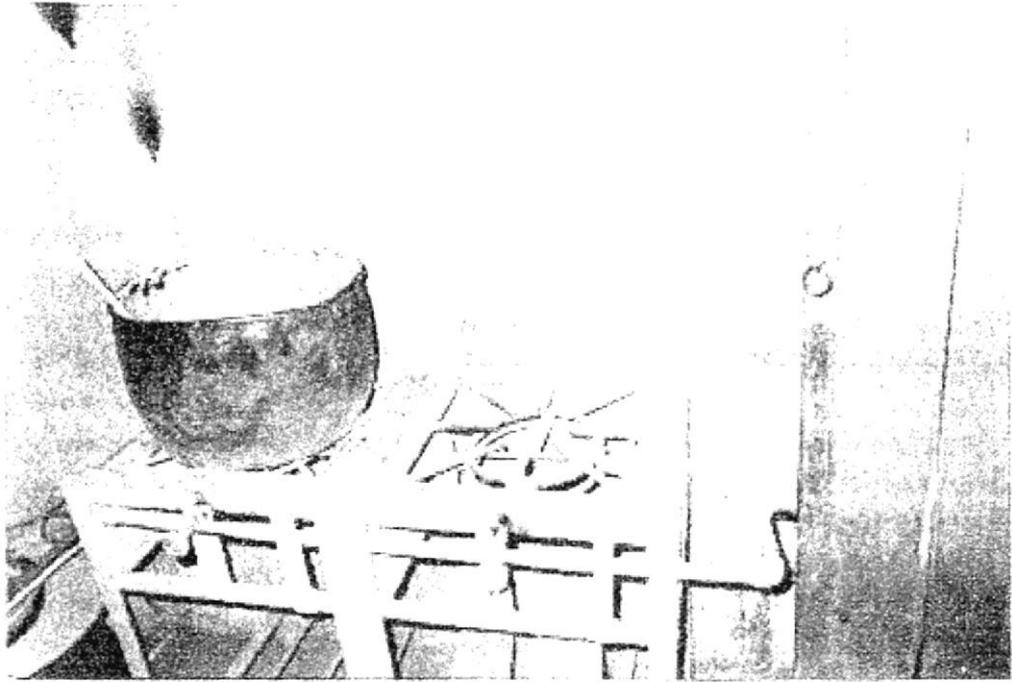
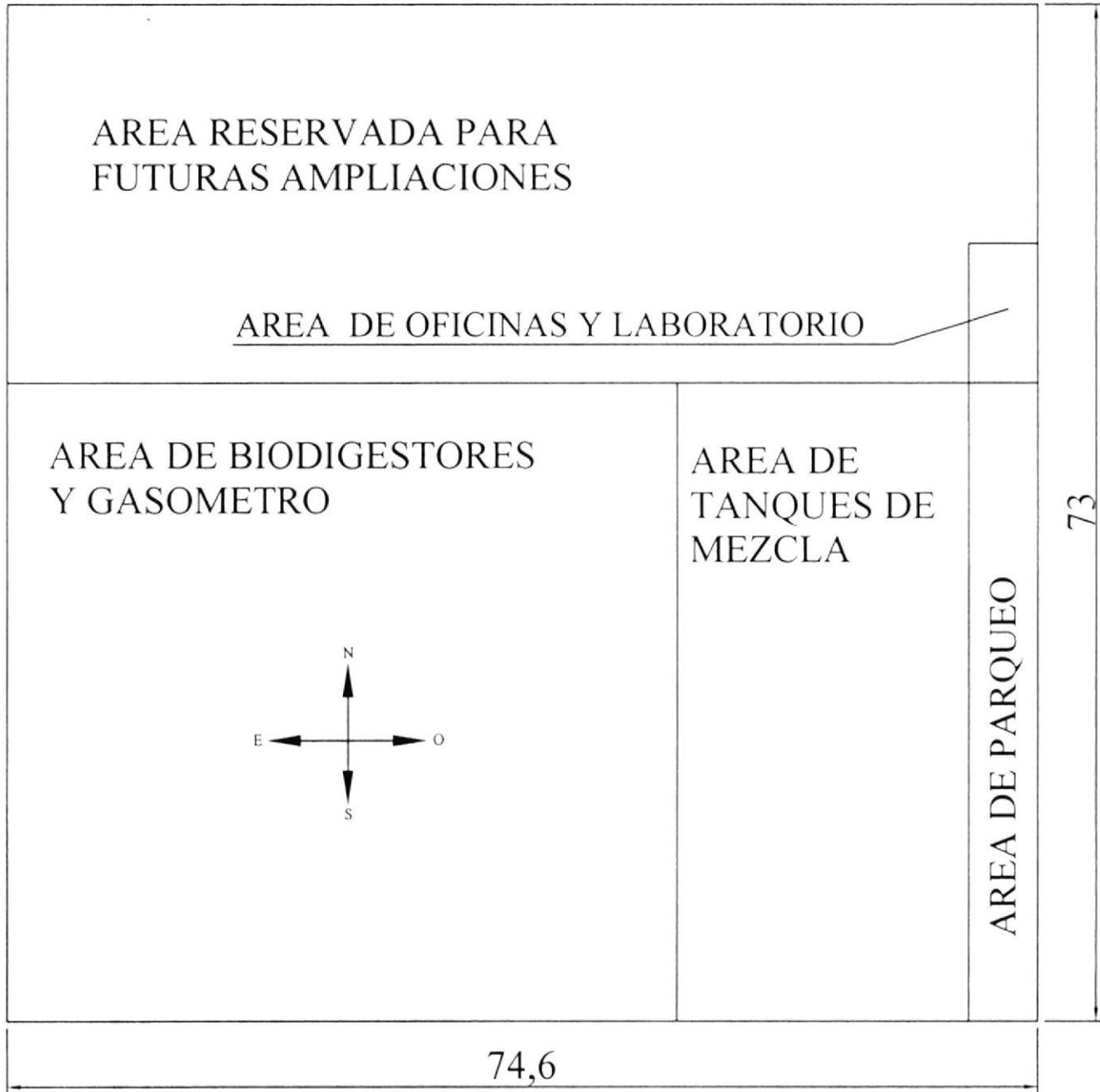
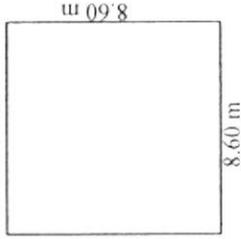


FIG #4: Cocina donde se preparan los alimentos.

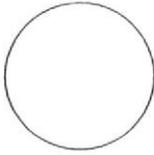


ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
APENDICE A	ESQUEMA GENERAL DE PLANTA
FECHA: AGOSTO /01	ESCALA: 1:100

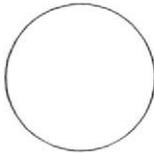
TANQUE DE MEZCLA #1
8.60m X 8.60m X 7m



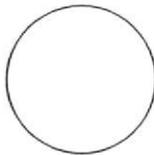
BIODIGESTOR #1
D = 6 m
V = 170.48 m³



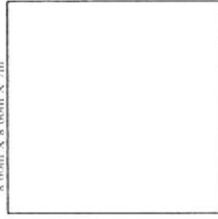
BIODIGESTOR #2
D = 6 m
V = 170.48 m³



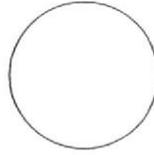
BIODIGESTOR #3
D = 6 m
V = 170.48 m³



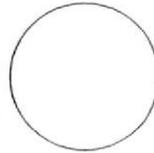
TANQUE DE MEZCLA #2
8.60m X 8.60m X 7m



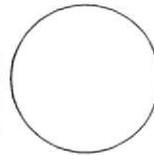
BIODIGESTOR #4
D = 6 m
V = 170.48 m³



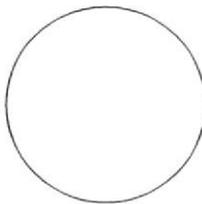
BIODIGESTOR #5
D = 6 m
V = 170.48 m³



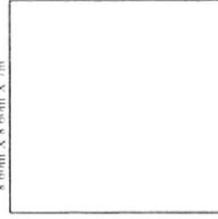
BIODIGESTOR #6
D = 6 m
V = 170.48 m³



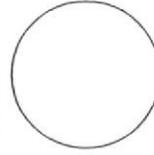
GASOMETRO
D = 8.02 m
V = 202.887 m³



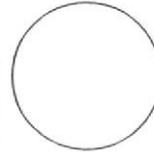
TANQUE DE MEZCLA #3
8.60m X 8.60m X 7m



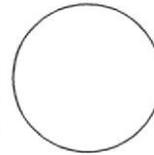
BIODIGESTOR #7
D = 6 m
V = 170.48 m³



BIODIGESTOR #8
D = 6 m
V = 170.48 m³

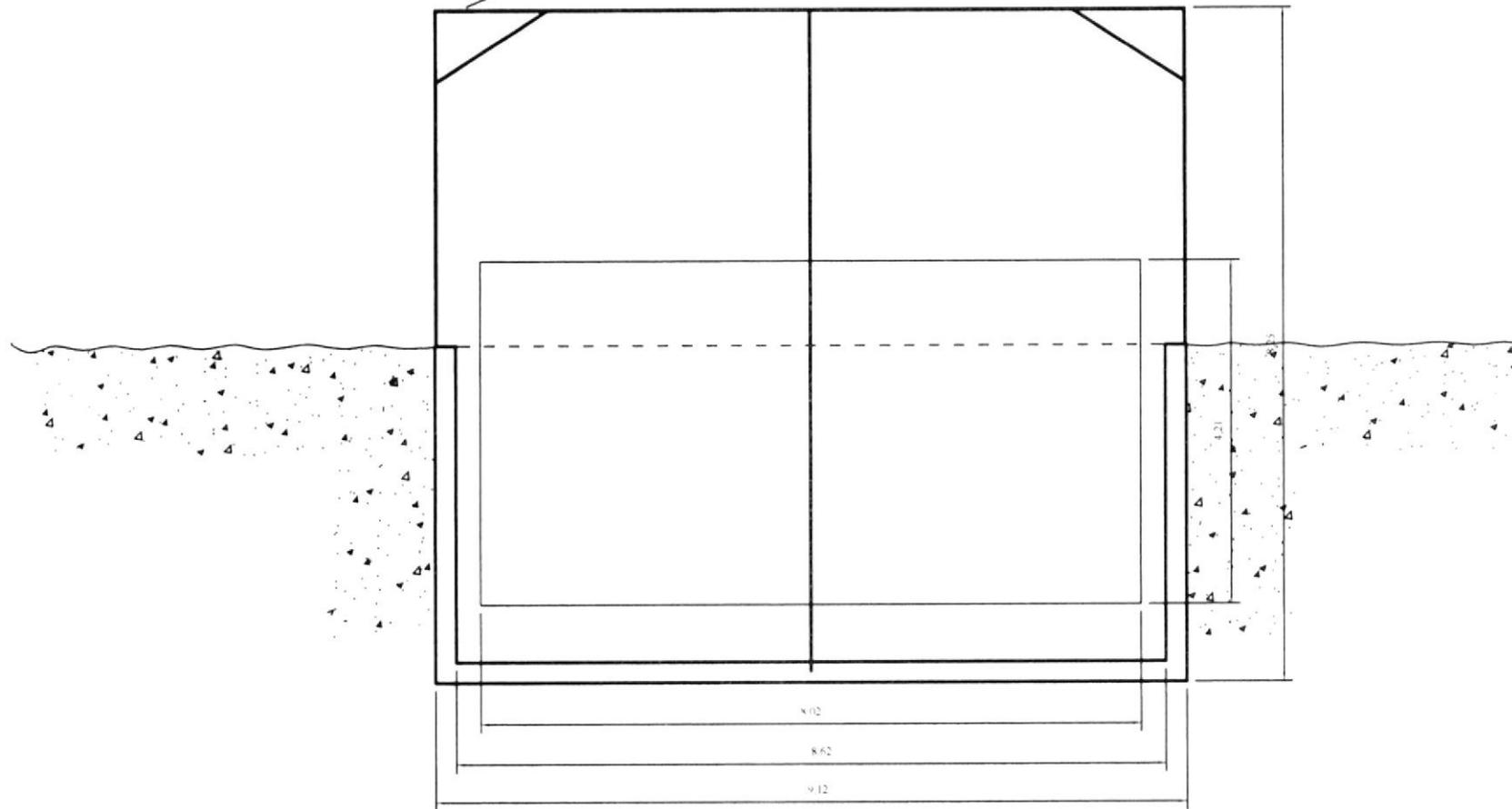


BIODIGESTOR #9
D = 6 m
V = 170.48 m³



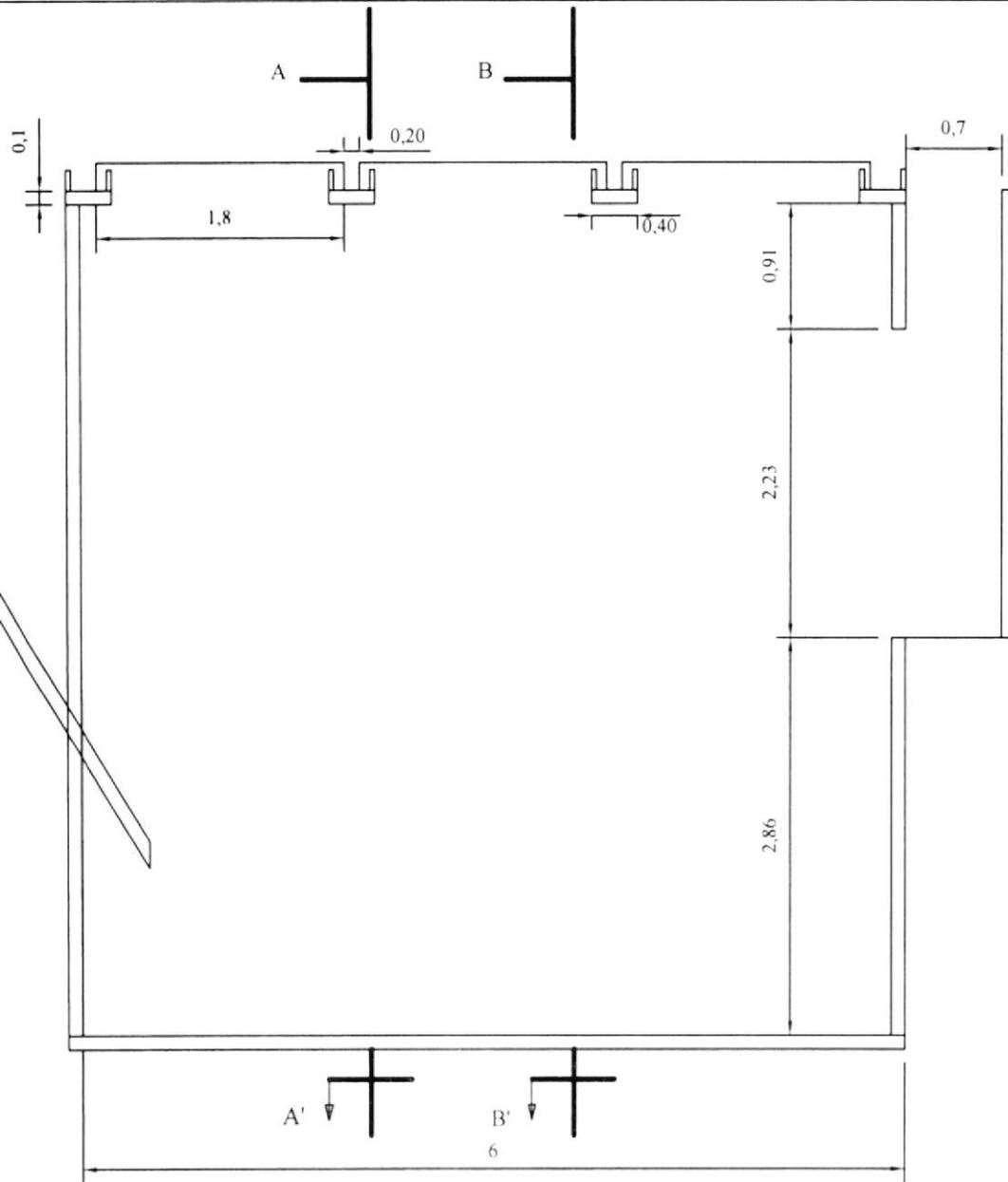
ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
APENDICE B	AREA DE BIODIGESTORES
FECHA: AGOSTO / 01	ESCALA: 1:100

TUBERÍA ACERO NEGRO, CED 40 DE 2"



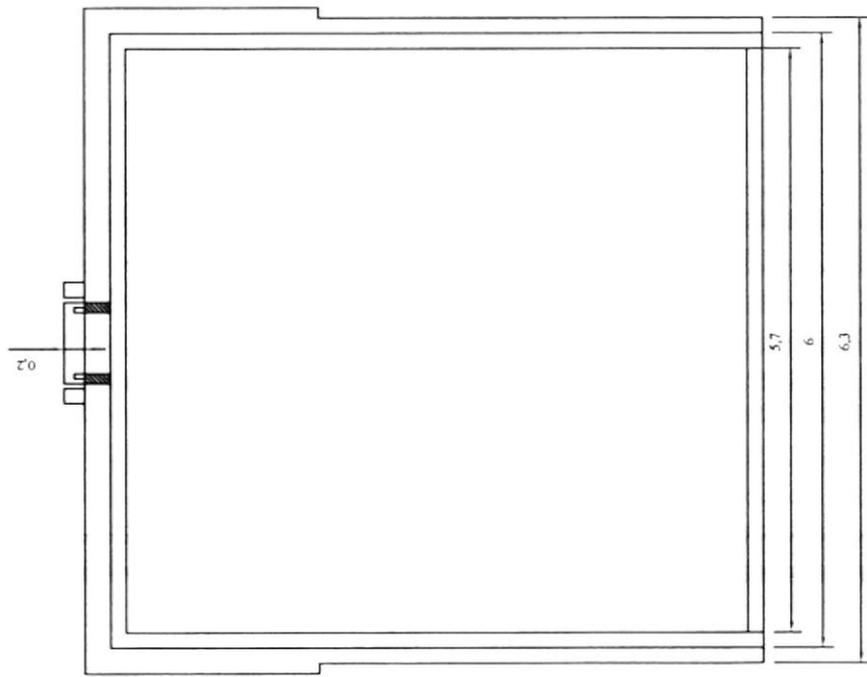
ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
MATERIAL: Acero galvanizado (e=3mm)	
APENDICE C	ESQUEMA DEL GASÓMETRO
FECHA: AGOSTO / 01	ESCALA: 1:100

ENTRADA DE LA MEZCLA

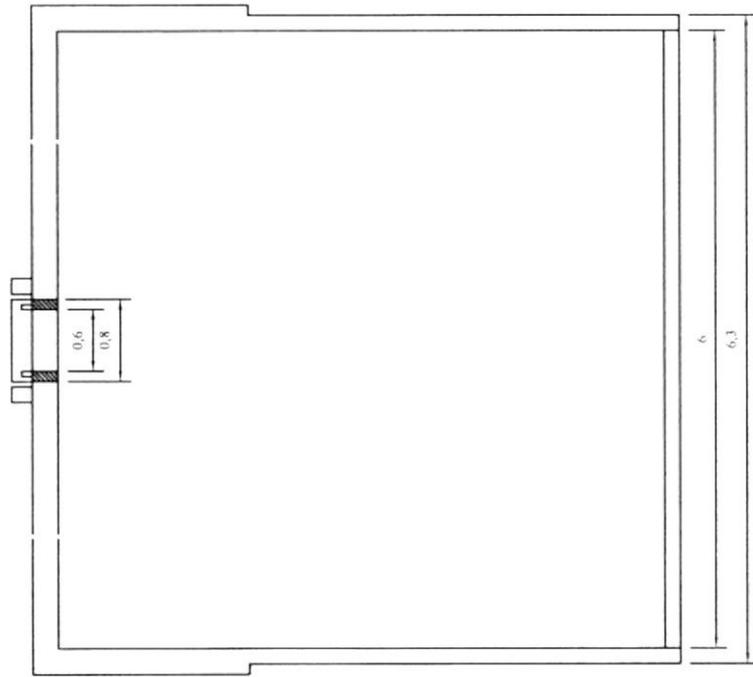


SALIDA DEL BIOABONO

ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
MATERIAL: Concreto simple	
APENDICE D	ESQUEMA DEL BIODIGESTOR
FECHA: AGOSTO / 01	ESCALA: 1:100

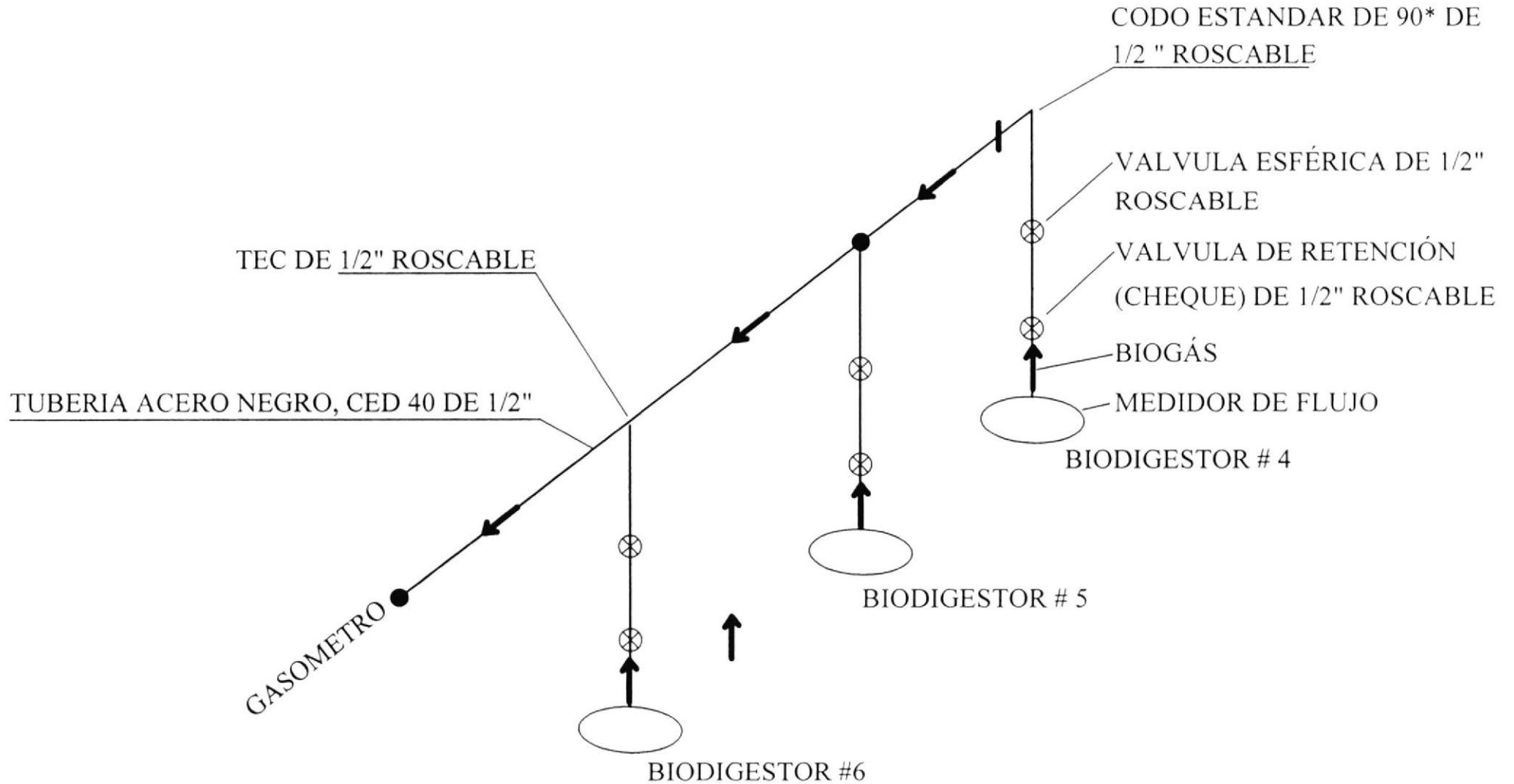


SECCIÓN A-A'

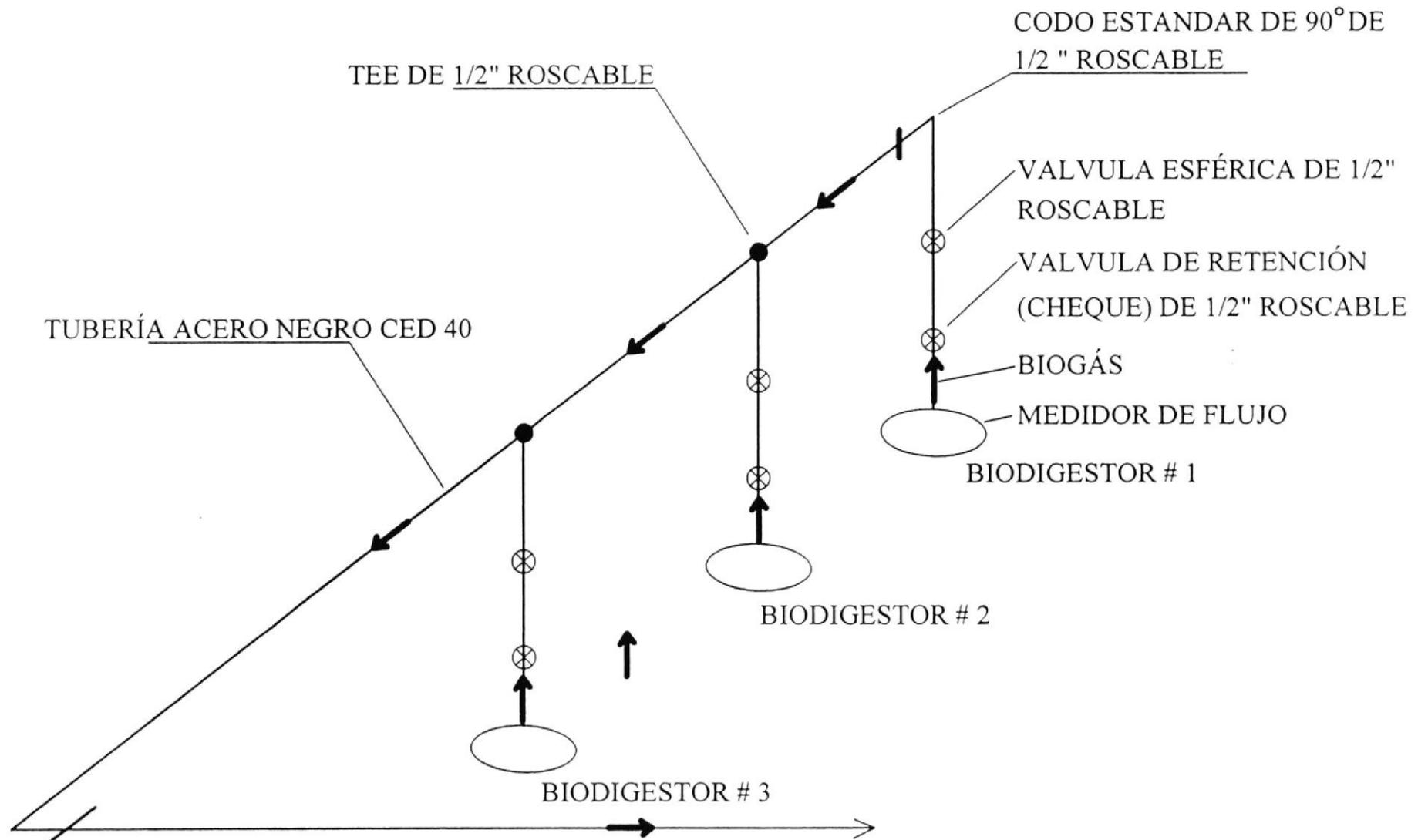


SECCIÓN B-B'

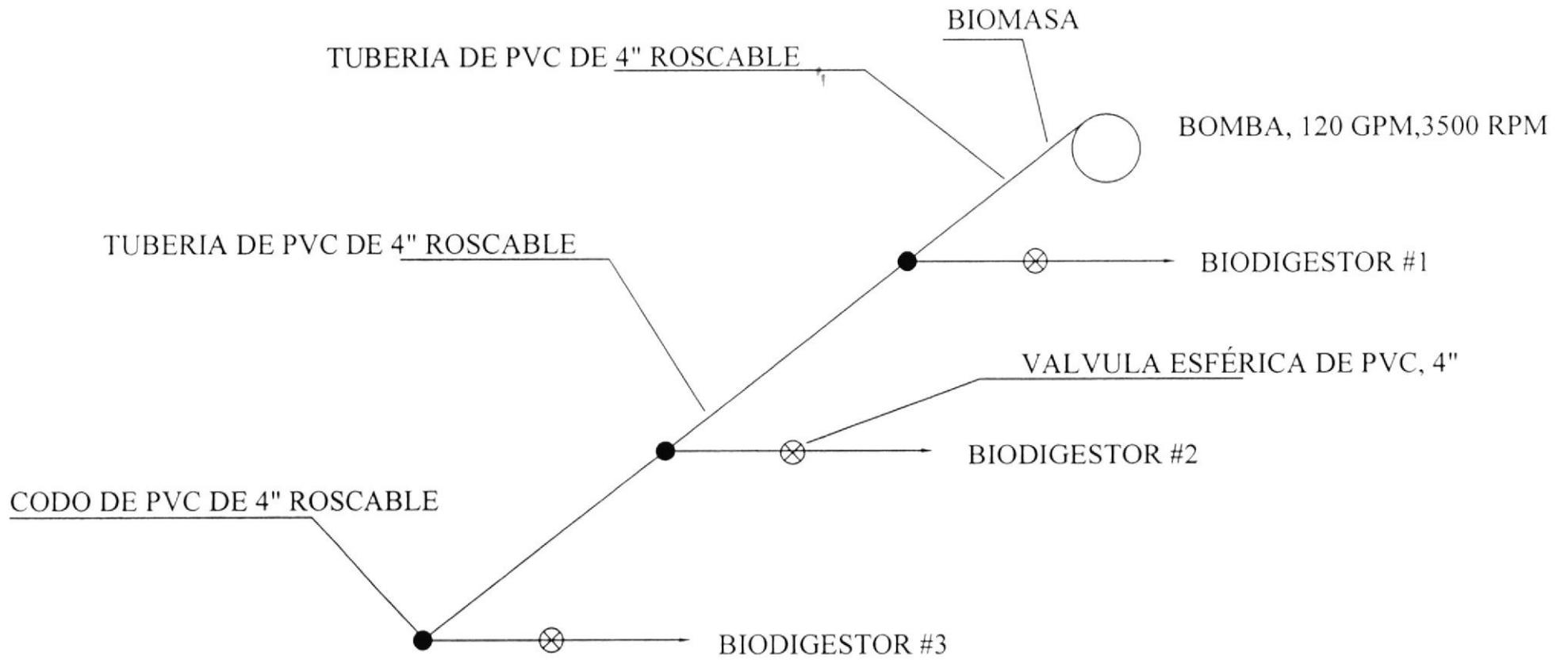
ESPOL
WASHINGTON HUAMAN
SECCIÓN DEL APENDICE F DIGESTOR
FECHA: AGOSTO / 01 ESCALA: 1:100



ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
APENDICE G	ESQUEMA LINEA DE BIOGÁS
FECHA: AGOSTO / 01	ESCALA:



ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
APENDICE H	ESQUEMA LINEA DE BIOGÁS
FECHA: AGOSTO / 01	ESCALA:



ESPOL	
WASHINGTON HUAMAN	
APENDICE I	ESQUEMA LINEA DE BIOMASA
FECHA: AGOSTO / 01	ESCALA:

BIBLIOGRAFÍA

1. BABOR – IBARTZ, Química General Moderna, Segunda Edición, Editorial Marín
2. CENTRO DE DESARROLLO INDUSTRIAL (CENDES), Estudio de Prefactibilidad de Basuras Urbanas
3. CROOK MICHAEL, A Chinese Biogás Manual, China ,Julio, 1.979.
4. GERARD KIELY, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión, Primera Edición, Tomo III, Editorial Mc. Graw Hill
5. INEC, V Censo de Población y IV de Vivienda 1990 Resultados Definitivos, Tomo II, Agosto de 1991
6. INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, Biogás: Información General, 1983

7. INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL, Manual de Construcción y Operación Planta
Económica de Biogás, 1983
8. IRVING H. SHAMES, Mecánica de Fluidos, Tercera Edición, Editorial Mc.
Graw Hill
9. LA CONTAMINACION, Biblioteca Salvat de Grandes Temas
10. REGISTRO OFICIAL DEL ECUADOR # 106, Enero de 1.996
11. REVISTA DE GESTION ADMINISTRATIVA, I. Municipalidad del Cantón
La Libertad, Abril de 1.997
12. VILLACRÉS OSCAR, “Utilización de Energía Solar, para el Aumento de la
Producción de Biogás, en un Digestor Anaeróbico para Zonas Frías” (Tesis,
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela
Superior Politécnica del Litoral, 1982)
13. ROJAS ROBERTO, “Recuperación de Desechos Ferrosos de las Basuras
Urbanas” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1992)

14. ROGER DORFMANN, Técnicas de Higiene Urbana, Instituto de Estudios de
Administración Local, Madrid 1977

espol CIB
Biblioteca 628.445
[C.1] HUA

D-27322




A.F. 143152