



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E  
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS**

**Aspectos Económicos y de Mercado en la Digestión de  
Residuos Agrícolas**

**TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

**Presenta:**

**Martha Patricia Hernández Vizcarra**

**Profesor Orientador:**

**M. en C. Rene Hernández Mendoza**



**MEXICO, D.F.**

**Noviembre de 2006**

México, D. F., a 24 de octubre del 2006.

A la C. Pasante:  
**MARTHA PATRICIA HERNÁNDEZ VIZCARRA**

Boleta: **8434138** Carrera: **IQI** Generación: **1984-1989**

Av. IPN 2203, Unid. Habitacional Juan de Dios Bátiz  
Edif. 19 Entrada B Dpto. 403  
Col. Lindavista. CP 07360  
Del G. A. Madero. México, D. F.

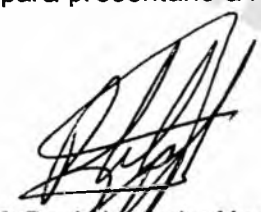
Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que el C. **M. en C. Rene Hernández Mendoza** sea orientador en el Tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción; **Tesis Individual** con el título y contenido siguientes:

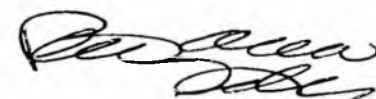
***“Aspectos económicos y de mercado en la digestión de residuos agrícolas”***

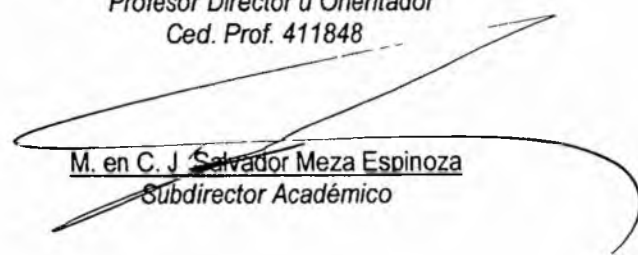
Resumen.  
Introducción.  
I.- Digestión de residuos de algunas agroindustrias.  
II.- Beneficios ambientales.  
III.- Control de la operación de digestión.  
IV.- Aspectos económicos y de mercado.  
Conclusiones y recomendaciones.  
Bibliografía.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.

  
Dra. María de Jesús Martínez Ortiz  
Presidente de Academia

  
M. en C. René Hernández Mendoza  
Profesor Director u Orientador  
Ced. Prof. 411848

  
M. en C. Blanca Zamora Celis  
Jefa del Dpto. de Prácticas  
Visitas y Titulación

  
M. en C. J. Salvador Meza Espinoza  
Subdirector Académico

# RECONOCIMIENTOS

Al **Instituto Politécnico Nacional**, donde hallé la oportunidad de lograr parte de mis anhelos a través de una formación sólida y profesional. Gracias a su nombre y prestigio las puertas del ambiente técnico profesional me permiten nuevos horizontes y un desarrollo como ser humano.

A la **ESIQIE**, el lugar donde logré construir la estructura de mis conocimientos, donde como su nombre significa me transformé en un ser diferente. La gran escultora a través de sus recursos incomparables.

Al profesor M. C. René Hernández Mendoza  
Por su paciencia y gran calidad humana al dirigir este trabajo.

A los profesores:

Ing. Misael Flores Rosas

M. C. Jahel Valdés Saucedo

Por sus aportaciones para enriquecer este trabajo.

## Agradecimientos

A mis Padres José Luís Hernández y Catalina Vizcarra. Por estar conmigo en todo momento a pesar de todos los altibajos que la vida nos ha dado, y que de antemano sé que desde que nací cuento y contaré con ustedes siempre.

A mis hermanos Xóchitl Maribel,  
María Isabel y Luís Guillermo  
Por todo lo que representan para mí.

A mis hijos: Niels, Catalina Guadalupe y Camille. Porque son lo que más amo en la vida.

A mi abuelita Cata y a mi tío Rodolfo en donde quiera que estén, nunca dejaré de agradecer su preocupación por mí.

A mi tía Chana, por aquellos años de crecimiento y desarrollo que tuve a su lado y que a través de los años he comprendido de qué se trataba.

A Dios por permitirme en esta vida tener una hermosa familia y lograr una preparación con la cual defenderme.

A ti que a través de los años y los sinsabores que hemos pasado sé que siempre podré contar contigo.

Gracias.

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	ii
<b>DIGESTIÓN DE RESIDUOS DE ALGUNAS AGROINDUSTRIAS</b> .....	1
<b>I.1 Antecedentes</b> .....	1
<b>I.2 Características y origen de los residuos de animales de granja</b> .....	1
I.2.1 Problemas de manejo.....	1
I.2.2 Producción potencial de gas.....	2
I.2.3 Residuo de los cerdos.....	3
I.2.4 Residuos del ganado vacuno.....	5
I.2.5 Desechos de aves.....	7
<b>I.3 Tratamiento general de los desechos de cultivos</b> .....	8
<b>BENEFICIOS AMBIENTALES</b> .....	12
<b>II.1 Aguas Residuales y los lodos de aguas residuales</b> .....	12
<b>II.2 Fuentes de Impacto Ambiental</b> .....	18
II.2.1 Cervecerías y destilerías.....	18
II.2.2 Transformación de los alimentos.....	23
II.2.3 Desechos de vegetales y acopio de energía.....	25
II.2.4 Basura sólida.....	35
II.2.5 Desechos de carne empaquetada y del rastro.....	41
II.2.6 Medios puros y mezclados.....	44
<b>I.3 Beneficios de la digestión Anaeróbica</b> .....	49
II.3.1 Producción de gas.....	49
II.3.2 Producción de fertilizantes.....	53
<b>CONTROL DE LA OPERACIÓN DE DIGESTIÓN</b> .....	59
<b>III.1 Eliminación de los agentes patógenos</b> .....	59
III.1.1 Parásitos.....	61
III.1.2 Virus.....	63
<b>III.2 Control de la Contaminación</b> .....	64
III.2.1 Disposición y utilización de los lodos.....	65
<b>III.3 Técnicas analíticas de caracterización y control</b> .....	68
III.3.1 Ácidos grasos volátiles.....	68
III.3.2 Alcalinidad.....	69
III.3.3 Análisis del gas.....	70
III.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	72
III.3.5 Valoración del permanganato.....	74
III.3.6 Demanda Química de Oxígeno (DBO).....	74
<b>III.4 Interrelaciones entre las Pruebas de la Demanda de Oxígeno</b> .....	75
III.4.1 Carbono orgánico total.....	76
III.4.2 Tiempo de succión capilar.....	76

III.4.2	Tiempo de succión capilar.	76
III.4.3	Trifosfato de adenosina	79
III.4.4	Sólidos volátiles.	81
III.4.5	Nitrógeno.	82
III.4.6	Fósforo.	84
III.4.7	Otros Compuestos Inorgánicos.	84
<b>III.5</b>	<b>Evaluación por Radioactividad.</b>	<b>85</b>
<b>III.6</b>	<b>Técnicas de Muestreo.</b>	<b>86</b>
III.6.1	Precisión y Exactitud del Muestreo.	87
III.6.2	Conteo de las Bacterias Patógenas.	89
 <b>ASPECTOS ECONÓMICOS Y DE MERCADO</b>		<b>92</b>
<b>IV.1</b>	<b>Digestores de Tecnología Mínima</b>	<b>92</b>
<b>IV.2</b>	<b>Digestores en Pequeña Escala de Alto Consumo.</b>	<b>94</b>
<b>IV.3</b>	<b>Digestores en Gran Escala.</b>	<b>96</b>
IV.4	La Economía	99
IV.4.1	Costos de capital (C)	106
IV.4.2	Costos directos	107
IV.4.3	Costos Indirectos.	108
IV.4.4	Impuestos	110
<b>IV.5</b>	<b>Prospectivas.</b>	<b>112</b>
IV.5.1	Valoración de los Desechos y su Disposición.	112
IV.5.2	Disponibilidad de la Energía Total.	113
 <b>CONCLUSIONES</b>		<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>117</b>

## INDICE TABLAS

Producción de estiércol a partir de animales de granja (Heces y orina).. ...	4
Producción relativa de gas metano a partir de estiércol de ganado vacuno .....	5
Características relativas de digestores anaerobicos con respecto a los volumens de gas y la carga de contaminación eliminada en residuos de cerdos.....	7
Producción relativa del metano en los desechos de las aves de corral.....	9
Producción estimada de los desechos de animales.. .....	9
Efectos de la temperatura en los digestores de desechos de aguas residuales.....	13
Datos del diseño de un digestor situado en la ciudad de Chicago.....	14
Procesos de digestión anaeróbica, costos de sólidos secos en dólares por tonelada.. .....	14
Costos estimados de diferentes rutas de una disposición de desechos....	16
Métodos alternativos para los costos y la disposición de las aguas residuales.....	16
DBO y sólidos relacionados con los desperdicios de las fabricas de cerveza y las destilerías .. .....	16
Eficiencia de los tratamientos relacionados con los desperdicios de la fermentación .. .....	17
Rendimiento del gas de los desechos de las cervecerías.....	17
Condiciones de operación y rendimiento de los digestores.....	23
Instalación de procesos de alimentos rendimientos de la operación del digestor.....	25
Costos y rendimientos de una cosecha seleccionada de California .. .....	26
Energía potencial de la digestión de los cultivos rendimientos de los gases de la cosecha .....	28
Producción primaria de hectáreas de cultivos por año (1 año 330 días de producción) .....	28
Producción anual de desechos orgánicos de la producción primaria y materiales de agricultura.....	28
Contenido de nitrógeno y proporción de C/N en los desechos de los materiales vegetales.....	29
Proporción de gas producido en los años 20 por fermentación anaeróbica de la celulosa de los materiales. ....	29
Efectos de la retención del tiempo a un rendimiento de 55°C.....	29
Propiedades de las hierbas frescas y pasadas. ....	29
Reducción en la contaminación durante la digestión de los fluidos de la fecula de maíz.....	30
Filtrado del fluido para la eliminación de la contaminación.....	30
Rendimiento del gas de diferentes desperdicios de vegetales así como la relación con las aguas residuales y la basura. ....	31

Rango de la composición de la basura en londres_ .....	36
Desechos domésticos producidos en inglaterra, mostrando cambios en su composición .....	37
Rendimiento del gas de la basura sólida en la digestión_ .....	40
Desechos de los sólidos del digestor con o sin aguas residuales... ..	40
Rendimiento de los desperdicios en los mataderos y en las empaquetadoras de carne en los digestores anaeróbicos_ .....	45
Sustratos sintéticos de alimentos _ .....	46
Concentraciones relativas del carbono y el nitrógeno en los sustratos potenciales del digestor. ....	46
Rendimiento de la digestión anaeróbica con lodos reciclados... ..	47
Simulación de la metanogénesis de sustratos de desechos domésticos en la presencia de aguas residuales (15 días de tiempo de retención hidráulica).....	47
Tiempos de retención relativas a 78 ° f para una columna de etilbenzoato:dimetilformamida _.....	72
Medidas relativas de los sólidos volátiles y totales de residuos particulares.....	82
Uso de energía domestica en inglaterra en 1976 .....	94
Economía del producción del metano de los combustibles de las cosechas_ .....	102
Costos de algunos factores tipicos de la ingenieria quimica_.....	103
Tabla de Costos 1_ .....	109
Tabla de Costos 2_ .....	110
Datos de suministro de residuos de biomasa en E.U.A._.....	111



## RESUMEN.

Las actividades antropogénicas en las sociedades actuales originan un deterioro constante del ambiente. Cada habitante de las grandes ciudades de México genera en promedio 1 Kg. de basura diaria que contiene materiales diversos, cuya disposición tiene por objeto descomponerlos y reincorporarlos al ambiente, tratando de reducir el deterioro a la naturaleza y el impacto socio económico que esto provoca.

En los medios rurales, la generación de residuos municipales por habitante es menor, en tanto que la forma en que se dispone de la basura, que generalmente es el tiradero a cielo abierto, representa un deterioro seguro del ambiente natural. Los materiales nocivos contenidos en los desechos se dispersarán en todas direcciones contaminando suelo, agua y aire sin ningún control y afectando, por consiguiente, vastas zonas naturales.

Este trabajo forma parte un proyecto en donde se hace un estudio a nivel mundial sobre el uso de digestores de basura para transformarla en biogás, como alternativa para la disposición de residuos sólidos municipales junto con residuos agroindustriales.

El contenido de esta tesis es una guía para usarse en comunidades rurales que permita seleccionar, desde el punto de vista económico, el tipo y tamaño del digestor que satisface sus necesidades.

## INTRODUCCIÓN.

En las comunidades rurales del campo mexicano, es común que la disposición de residuos municipales sea su quema o tiradero a cielo abierto o bien su vertido sin ningún control sanitario a los ríos y lagos. Los digestores de basura para producir biogás han sido usados en algunos países asiáticos para eliminar los desechos, con la ventaja de mejorar las condiciones sanitarias y a la vez proveer de combustible doméstico a pequeñas comunidades. La aplicación de esta alternativa depende de dos factores principales, el primero de carácter técnico (tecnología de la digestión) y el segundo de tipo socio-cultural (relación sociedad-entorno ambiental).

La digestión es uno de los procesos que utiliza la naturaleza para descomponer sustancias orgánicas, transformándolas en compuestos más simples, de manera que éstos puedan ser reasimilados y distribuidos nuevamente en el medio ambiente. La tecnología de la digestión requiere de la interdisciplina entre bioquímica e ingeniería. El estudio a nivel fundamental de los fenómenos y mecanismos que ocurren y rigen la digestión, es el campo de la bioquímica y a su vez, constituye los conocimientos fundamentales que permiten a la Ingeniería desarrollar equipos y procesos donde pueda ocurrir ésta en condiciones controladas.

La relación sociedad-medio ambiente es un factor determinante en la asimilación y apropiación de tecnología. La tecnología moderna es un importante factor de cambio en los comportamientos sociales. Es frecuente observar que la forma de vida de algunas comunidades presente resistencia a incorporar tecnologías que han sido desarrolladas en otro contexto socio- económico-cultural.

En principio, una comunidad rural puede decidir construir un digestor para deshacerse de su basura, sin embargo, hay otras actividades que deben considerarse para que esta alternativa rinda los beneficios esperados, por ejemplo, organizar a la comunidad para que la recolección de desechos separe la basura degradable del resto de los materiales, vigilar y mantener la operación y mantenimiento del digestor, disponer de instalaciones donde el biogás pueda ser aprovechado como combustible, distribuir el biogás generado, etc. Todos estos factores pueden ser, en un momento dado, tan importantes como la misma tecnología de construcción del digestor. Se requieren estudios de campo que indiquen la viabilidad de utilizar la digestión en un medio socio-económico determinado.

Esta tesis es parte de un trabajo de mayor alcance cuyos objetivos incluyen analizar los factores determinantes que permitirían utilizar el uso de tecnologías de digestión de materia orgánica como una alternativa para la disposición de basura.

En el primer capítulo se analiza la digestión de residuos agroindustriales y su potencial de producción de biogás, los capítulos dos y tres se dedican a revisar los beneficios ambientales que se obtendrían y los requisitos esenciales para la operación y control de digestores que los procesen. El capítulo cuatro se dedica a reunir los elementos que se necesitan en el trabajo de campo para hacer estudios de costo beneficio, que permitan determinar la viabilidad de la construcción y operación sustentable de digestores en comunidades rurales del campo mexicano.

**SOLO LECTURA**

## I

### **DIGESTIÓN DE RESIDUOS DE ALGUNAS AGROINDUSTRIAS**

#### **I.1 Antecedentes.**

Con el fin de transformar el conocimiento de desarrollo de un digestor en un proceso viable para la producción de metano, a causa de originarse residuos específicos, tienen que estudiarse en sistemas digestivos de diferentes tamaño para establecer la digestibilidad de tales residuos. La mayor parte de la información que se presenta ha sido obtenida usando diferentes sistemas digestivos y en estos términos se proporciona una clasificación de desempeño del digestor, en tablas para cada desecho particular considerado.

Se analiza el problema de manejo, así como los principios generales de las características potenciales de un desecho que permite ser alimentación útil para la producción anaeróbica de metano.

#### **I.2 Características y origen de los residuos de animales de granja**

Debido al aumento gradual en los costos de los energéticos y fertilizantes. Así como el impacto ambiental que tiene la generación considerable de residuos de esta naturaleza, se ha tenido que revalorar y plantear alternativas del destino de los residuos de animales de granja.

Tradicionalmente los desechos de granja simplemente se eliminaban. Actualmente es un recurso potencial, para procesarse en una digestión anaeróbica y producir metano.

##### **I.2.1 Problemas de manejo.**

El problema de la recolección y el manejo se vuelve cada vez más agudo con el incremento en los métodos intensivos y de la contaminación del agua. Los métodos de recolección de masa semisólidas en granjas grandes y modernas son con los sistemas mecánicos adecuados de manera que se permita un drenado natural y así disminuir la contaminación del agua. Los métodos tradicionales incluyen la adición de una cama con un material que absorba la orina y carbohidratos que

---

completan la composta. La tabla 1 proporciona una idea de la producción de estiércol de animales de granja.

El estiércol de los cerdos se recolecta por medio de unos canales formados por unas tablillas; el material fluye lentamente y después se extiende en las tierras o bien se traslada en un tanque a un digestor. Los desechos de las aves se manejan como estiércol o abono; aunque, cabe mencionar que, se han planeado muchos otros métodos para la eliminación de estos materiales.

El caso de los desechos del ganado vacuno es complicado debido a que frecuentemente se mezcla con paja o con las sobras de la comida de los animales y se tiene que recoger del suelo con tablillas o bien, algunas veces se tiene que raspar el mismo suelo. El costo por eliminación y distribución junto con el tratamiento biológico convencional es muy alto; a lo anterior se le debe sumar la presión que tiene el granjero para instalar un sistema que minimice la carga de contaminación del agua. Gran parte del estiércol puede ir a las tierras, donde los materiales se pueden filtrar y ser el punto de partida de la contaminación posterior de ríos y lagos. Por lo tanto, el objetivo es diseñar procesos que pudieran ser menos caros que los sistemas aeróbicos, que también sean más eficientes en la remoción de cargas contaminantes y que puedan proveer a la granja de recursos útiles de energía.

Desde el punto de vista del potencial de la digestión anaeróbica; la mayoría del estiércol de granja contiene niveles altos de sólidos volátiles, entre 72 y 82%, el valor más bajo es para el abono de las aves y el más alto para el estiércol de las vacas.

### **I.2.2 Producción potencial de gas**

Las relaciones de carga a los digestores, en términos de lo sólidos volátiles que se añaden, pueden variar de 0.7 a 5 kg por metro cúbico por día. Puede haber cargas más altas, pero esto dependerá de la toxicidad de los ácidos grasos volátiles al mezclarse con el agua que contenga el estiércol. Uno de los mayores problemas de la digestión anaeróbica de residuos animales es la concentración o nivel de toxicidad de amoníaco, que se

---

produce por alto contenido de nitrógeno en estiércol, cuyas cantidades pueden ser 0.4 g de nitrógeno por kilogramo de ganado, 0.9 para cerdos y 0.15 para humanos. Las concentraciones tóxicas de amoníaco en la digestión anaeróbica son difíciles de determinar y esto dependerá a su vez de la cantidad de agua y del tiempo de retención de la alimentación al sistema. El proceso de digestión puede ser inhibido cuando la concentración de amoníaco es de 150 mg/L. Sin embargo, se encontró un caso donde la inhibición se presentaba hasta cerca de los 500 mg/L.

Ya que los residuos de animales son de composición variable, hay que tener en cuenta el contenido de sólidos. Así como los métodos de recolección de los mismos que afectan sus características; por esto, cada sistema requiere de una evaluación por separado antes de decidir las condiciones de operación del digestor.

### **1.2.3 Residuo de los cerdos.**

Una investigación reciente hecha por Hobson y Shaw esta dirigida a la digestión de los residuos de cerdos y su importancia en la agricultura, así como el reto en la reducción de sus efectos ambientales. Además si se añade cobre en la alimentación de los cerdos, podría ser un serio peligro para el proceso de la digestión. Se debe tomar en cuenta que pueden producir altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco. Se ha demostrado que, por ejemplo, a relaciones de carga de 5.56 kg de sólidos volátiles por metro cúbico por día con un tiempo de retención de 14 días se produce una caída en la remoción de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con una disminución aparente de 3.2 kg de sólidos volátiles por metro cúbico por día. La concentración de amoníaco puede alcanzar un máximo de 1 300 mg/L a la máxima carga sin que el proceso se inhiba. El cobre causa la inhibición entre los 60 y los 85 mg/L (base húmeda), pero, frecuentemente, estas concentraciones no se alcanzan.

El problema del amoníaco en los residuos de los cerdos se ha podido solucionar cuando el gas que se produce se alimenta a una torre de absorción de amoníaco, cuya corriente líquida es ácido fosfórico.

TABLA 1			
Producción de estiércol a partir de animales de granja (Heces y orina).			
PARAMETRO	AVES (2 27 kg)	CERDOS (56 7 kg)	GANADO (450 kg)
kg/día	0 1	4 5	45
% peso	5-6	8-9	9-11
% materia	20-30	15-20	10-11
peso seco promedio kg/día	0 03	0 7	4 5
DBO(kg/día)	0 01	0 2	1 4

Posteriormente, este gas se pasa a través de una torre de absorción de dióxido de carbono que contiene cal.

Esto produce una eliminación de amoníaco de un 67% a 35°C con un tiempo de retención de 15 días y una relación de gas de 11 m<sup>3</sup>/min/28m<sup>3</sup>. Al inicio, se espera que, por lo menos, la torre de absorción de CO<sub>2</sub> por si sola incremente las proporciones de metano en el gas del digestor en más de 85%.

Cuando se observan las cifras para reducir la contaminación durante una digestión anaeróbica de los desechos de cerdos, el porcentaje de eliminación de DQO que se evalúa va desde 9.1 a 76% a tiempos de retención de 6 a 30 días. Se obtuvieron cifras similares para DBO, es decir, de 24.6 a 87% en un intervalo de tiempos de retención similar. El promedio para ambos fue de 42 y 67%, respectivamente. Con el fin de reducir la carga de contaminación se requiere de un sistema de filtrado muy caro. No obstante, se ha observado en los digestores piloto que se producen buenas cantidades de gas en términos de gramos por litro digerido por día. Esta pequeña cantidad de metano en exceso se puede utilizar, por ejemplo, para un sistema de calefacción, especialmente en las estaciones frías.

El rendimiento del proceso de digestión del estiércol de cerdos se explica con el porcentaje de metano en el gas que se genera, que se encuentra en un buen promedio.

De cualquier modo, aún es preocupante que la energía que se consume, sobre todo en climas fríos, es mayor que la disponible.

Si se logra mejorar las proporciones de casi 4 SV por metro cúbico por día a un tiempo de retención de 10 días, es posible mejorar significativamente la producción de gas, aún si no es así para la rapidez de eliminación de BOD y DQO.

TABLA 2

PRODUCCIÓN RELATIVA DE GAS METANO A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO									
Sv Tamaño del digestor	Estiércol g/l día	Carga g/l día	Sv degradados %	Temperatura °C	Producción de gas ml/g Sv día	% DQO	% BOD	BOD Relativo	DQO Relativo
248 ml	-	-	-	35-36	50	55	-	-	-
570 ml	-	-	-	-	55 200-2200	55-57	100	-	-
	-	-	-	-	55 500-7000	45-54	52	-	-
1720 ml	1	-	-	-	25	267	100	-	-
3	59 SV	-	-	-	50 178 A	34.5	54	9	-
	59 SV	-	44	7	50 231 A	22.5	56	8	-
	59 SV	1	52	-	50 231 A	13.4	58	9	-
	97 SV	1	32	-	50 129 A	41.9	51	3	-
	97 SV	1	37	3	50 154 A	26.7	53	8	-
	97 SV	1	43	2	50 223 A	23.5	53	9	-
3.4	43 SV	1	11	2	23 521 C	52	28	7	-
	43 SV	1	15	4	34 5 104 C	55	26	3	-
	50 SV	2	11	4	23 3 385 C	53	28	9	-
	6 SV	2	10	3	34 3 385 C	53	23	9	-
4	-	15	21	-	32 3 311 A	12.7	49	15	1.6
	-	15	27	-	32 3 115 A	15.3	45	15	1.6
	-	9	19	-	32 3 324 A	27.3	47	15	1.6
	-	3	17	-	32 3 124 A	37.5	37	15	1.6

#### I.2.4 Residuos del ganado vacuno.

De la información presentada en la tabla. 2, la fracción de sólidos volátiles que se transforma en metano, resultó un poco menor que la utilizada en el estiércol de cerdos Tabla 3. De cualquier modo, se obtuvieron buenos volúmenes de gas por gramo de SV que se degradaron por volumen de digestor por día. El último grupo de cifras se incremento porque el contenido de sólidos totales en el estiércol de ganado vacuno resulto más alto al compararse con el residuo de los cerdos. Por lo tanto, el estiércol del ganado vacuno es un recurso potencial en la producción de metano. Este estiércol es más fácil de manejar cuando se suaviza con agua pero se necesita de digestores más grandes con un peso neto determinado de sólidos totales.

A diferencia de otros residuos, el estiércol de ganado vacuno ha sido procesado a 60°C con éxito. Los sistemas de digestores más convencionales funcionan en el intervalo de temperatura de 30 a 35°C.



Se han obtenido excelentes volúmenes de gas a éstas temperaturas elevadas, permitiendo una disminución de temperatura de hasta 5°C, en el que el sistema es estable. También se han logrado resultados a 60 °C con tiempos de retención bajos de 3 días. En otras investigaciones se encontró que a temperaturas inferiores de 25°C, los procesos con tiempos de retención de 25 días o más no tenían éxito en la producción de metano. La materia residual orgánica no digerida representa el 50% en los granos que se dan como alimento al ganado, debido a la presencia en la dieta de materia recalcitrante tal como la lignina. La concentración de amoníaco alrededor de 1100 mg/L no parece inhibir la metanogénesis.

Algunos trabajos en la India han logrado una producción inicial acelerada de metano mediante la adición de glucosa, con extractos de celulosa, de urea o de carbonato de calcio como amortiguadores favorecen la estimulación de metano.

Durante algún tiempo en la India se han estado operando muchos sistemas de digestores que utilizan las heces de la vaca para producción de gas para la comunidad rural. En los Estados Unidos se está considerando ampliamente, la posibilidad de usar un digestor para satisfacer las necesidades energéticas de una comunidad, obviamente en las áreas con mayor potencial de disponibilidad del residuo, en donde se estima que la producción de heces se genera de 50 000 cabezas de ganado. En términos de la cantidad de gas que se produce, el estiércol de ganado disponible por año en los Estados Unidos se ha estimado entre 160 a 190 millones de toneladas. Si se usan cifras conservadoras de producción de gas, se ha calculado que tal estiércol pudiera producir 5.8% de la energía que requiere Estados Unidos o el 24% de la producción residencial y comercial. Los precios en la energía están favoreciendo que se tomen en cuenta estas ideas. Al respecto es importante determinar a que temperatura debe operar el digestor. Se ha demostrado que con temperaturas elevadas se tienen mayores volúmenes de gas especialmente con bajos tiempos de retención donde el proceso pueda ser estable. Sin embargo, para lograr altas temperaturas, la mayoría de los digestores

requiere de sistemas de transferencia de calor estables con el fin de evitar pérdidas en el volumen neto de gas.

Con el fin de reducir la carga de contaminación en la corriente de salida del estiércol de ganado vacuno en la digestión anaeróbica, se deberá tomar en cuenta que una gran proporción de sólidos volátiles (SV) que se alimentan al digestor no se degrada y que solo provocará mayor carga contaminante al sistema. Por lo tanto, se deberá planear, diseñar y construir o bien comprar e instalar un sistema de eliminación de DBO/DQO residuales.

**TABLA 3**  
Características relativas de digestores anaeróbicos con respecto a los volúmenes de gas, la carga de contaminación eliminada en residuos de cerdos

Producción de gas %									
Tamaño del digestor	Carga de SV (g/L día)	SV degradados	Temperatura (C)	SV mL/g añadido	CH <sub>4</sub>	mL/L día	TR hidráulico	%DBO	%DQO Removida
4.05m <sup>3</sup>	0.77		35				6	63	45
			35						
			35						
			35						
5.7m <sup>3</sup>	1.6		35		60-69				
5L (7.8)			35		62	18			
			20		20	15			
15 L	0.26		35		40-50	233	19	74	30
			35		40-50	453	14	71	23
			35		40-50	680	14	9	54
			35		40-50	680	14	24.6	9*
			35		40-50	786	14	53.4	18
3.2m <sup>3</sup>	2.1	0.94	35		65	65	1023	15	
			35		62	65	342	15	
			35		32	65	6*5	20	
			35		710	65	539	30	
4L	1.92	0.96	32.5			64.5	490	10	34
			32.5			65.7	770	15	55
			32.5			72.4	1540	10	35
			32.5			69.3	1610	15	42
12.7m <sup>3</sup>			24.5-27.0						
			27-28						

45-49 without CO<sub>2</sub> stripping  
53-57 with CO<sub>2</sub> stripping

### 1.2.5 Desechos de aves.

El abono de las aves de corral es uno de los más molestos para su eliminación, desde el punto de vista del olor y del fastidio local, y por supuesto de la carga de contaminantes que contiene. Esto es debido al gran volumen y la alta densidad de las operaciones típicas de las granjas avícolas modernas. Debido al gran volumen de producción de abono, el valor potencial del metano es atractivo. Este se puede utilizar "en el lugar" para calentar en el invierno y acondicionar el aire en el verano. Tiene la

ventaja agregada de reducir problemas de olor, particularmente sensible en la gallinaza.

La producción diaria de abono de la gallina es de aproximadamente 180 gramos por gallina, con un contenido de sólidos de casi 25% y 70 % como SV.

Una proporción alta de SV en la gallinaza agregados a un digester se destruye igual que el abono de ganado vacuno y es lo mismo con respecto al desecho de cerdos, es posible obtener buena producción de gas por SV disponible en la digestión controlando las cantidades y el mezclado en la alimentación entre otras cosas, y un desecho hasta ahora difícil, tal como la gallinaza, ahora es tratable por digestión anaeróbica con tiempos de retención completamente bajos. Debido a la presencia de la lignina en la basura esparcida de las aves de corral, se encontró la difícil digestión de tales desechos, no obstante, se ha demostrado que tales desechos producen buenos rendimientos de gas. De la misma manera, la presencia de amoníaco en un digester de 3 150 mg/l no parecía inhibir apreciablemente la digestión incluso en tiempos de retención bajos de 10 días. Debido a conversiones altas de SV en metano, es probable que el sistema reduzca la carga de la contaminación de DBO/DCO en el residuo, y en un caso como éste se encontró una remoción aproximada de 70% de DCO. En estos términos la digestión anaeróbica sería un medio eficiente de cómo reducir la carga orgánica residual de la gallinaza.

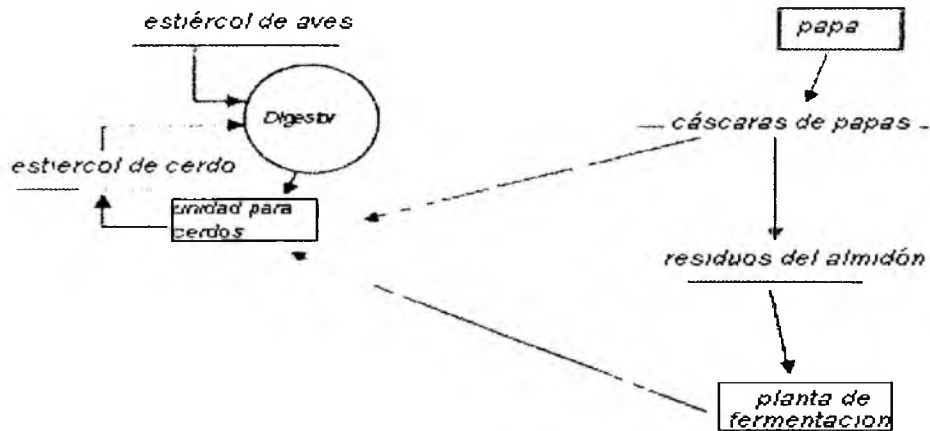
### **I.3 Tratamiento general de los desechos de cultivos.**

Los desechos de cultivos contribuyen en una proporción importante de contaminación orgánica a los acuíferos así como la contaminación inorgánica que causa el eutrificación de los lagos y de los ríos. La digestión puede reducir algo de esta carga disminuyendo el contenido orgánico de estos desechos que son perdidas en dióxido de carbono y metano. Las sales inorgánicas, principalmente nitrógeno y (ver tabla 4) fósforo, se fijan por adsorción en gran parte de las partículas finas del material vaciado del digester de tal modo que sea decantado después de la digestión.

Tamaño del digestor	SV o ST	Carga de SV	SV destruidos	Temperatura	Producción de gas		CH <sub>4</sub>	TR	DBO	DCO	Re f.
	%	(g/l día)	%	°C	ml/g SV	ml/l día	%	días	%	%	
0.84 m <sup>3</sup>	11 (ST)	0.934	-	35	923.8 (A)	990	60	19	-	-	26
3 l	10 (ST)	1.6	-	29	638.6 (A)	1200	60	10-10	-	-	26
3.4 l	5.8 (ST)	3.06	-	35	238.1 (A)	490	60	24-15	-	-	27
	6.5 (ST)	2.88	-	23	81.8 (A)	190	60	25	-	-	27
5 l	4.3 (ST)	1.13	-	35	352.2 (A)	500	60	20	-	-	20
	-	2.18-3.97	20-45	34.5	99.2-266.6 (A)	-	Nov-49	23-26	-	-	5
	-	1.54-3.07	57-68	32.5	279-359.6 (A)	-	58	Oct-15	-	-	
	-	-	-	50.5	551.8 (A)	-	69	9	-	-	
4 l	-	1.54	-	-	451.4 (D)	588	58	10	-	-	14
	-	1.54	67.8	-	530.7 (D)	700		15	-	-	
	-	3.08	64.2	-	473.7 (D)	1176		10	-	-	
	-	3.08	57	-	489.8 (D)	1064	52	15	-	-	
2.63 m <sup>3</sup>	77.5 (ST)	-	-	35	133 (A)	-	-	-	-	-	28
					161 (A)						
0.208 m <sup>3</sup>	-	-	-	35	-	-	-	2.47	-	-	29

Desafortunadamente hasta ahora, no existe bastante información disponible para el balance de masa de las sales nutrientes durante la digestión anaeróbica, pero la concentración de residuos después de la digestión de la gallinaza se encontró; fosfato (3.9%), nitrógeno total (4.9%), y potasio (1.8%). Ya que el agotamiento de nutrientes de los desechos es muy costoso, la digestión anaeróbica ofrece medios más rentables para que, estos componentes se puedan reducir en la basura. Esto estabiliza el material orgánico, reduce el olor, puede producir un subproducto útil (metano), y mejorar el valor del fertilizante de los residuos.

PRODUCCIÓN DE DESECHOS	GANADO	CERDOS	AVES DE CORRAL
Sólidos totales (g/día)	4500	780	45
Sólidos volátiles (% de SV)	3600	624	36
Eficiencia del digestor (% de SV)	Oct-50	50	20-60
Producción de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /Kg. DE SV adheridos)	0.1-1.0	0.1-0.8	0.1-0.9



**FIGURA 1. Posibles interrelaciones entre los tres residuos usados como materia prima; la energía que hace el proceso viable proviene de la digestión**

La tabla 5 indica el estiércol producido con respecto a diversos animales de granja y la producción potencial de gas de ellos. Con las prácticas agrícolas que no son intensivas, conseguir la eliminación de desechos es altamente satisfactorio. Con el aumento de concentraciones de animales esto es impráctico y peligroso. Debido a los costos ascendentes de combustible y de fertilizante puede ser inteligente utilizar la digestión anaeróbica, como el medio provechoso de eliminación del abono.

Se ha calculado que una porción de ganado vacuno de 100 000; podría producir bastante gas para un retorno de inversión del 23% por año. El gasto total para tal digestor fue citado de \$2 millones de dólares, con un beneficio neto de gas de \$0.25 millones de dólares (1975 precios). Estos digestores no fueron probados, funcionando como digestores reales, sino fueron predicciones de la cinética conocida del proceso.

Es posible que para la utilización económica de digestores sea necesario incorporar otros sistemas, para hacer un uso completo del gas o del residuo fertilizante. El gas del digestor, además de proporcionar calor ya sea para una unidad de crianza de cerdos, es posible usarlo para calentar los fermentadores mientras crecen las células de la levadura en los desechos, de una fábrica que procesa papa. Es posible alimentar la mondadura de desecho para alimentar a los cerdos y la fécula de la papa se usa como alimentación para la célula de la levadura, que sería un suplemento proteínico ideal para los cerdos. Los mismos residuos del

digestor son altos en proteína y pueden ser una buena fuente de suplemento del alimenticio (Figura 1).

Sin embargo, es posible controlar los abonos de la granja con técnicas relativamente baratas y sencillas, incluyendo la digestión anaeróbica. El agotamiento de nutrientes es muy costoso y de alguna manera la digestión va hacia la reducción al mínimo de la carga del nutriente en el material de desecho. Los procesos satisfactorios del metano se podrían establecer con éxito, ya que el proceso produce la reducción aproximada de 50% de sólidos totales además de la casi eliminación del olor y producir un lodo más fácil de decantar. Puede reducir considerablemente el nivel de ciertos patógenos, pero se requiere más investigación en esta área. El sistema sería más económico que los sistemas aeróbicos que requieren las plantas de la aireación, que son costosas, para proporcionar oxígeno las bacterias degradantes. La decantación es importante si se van a transportar grandes volúmenes de basura; si este volumen puede ser reducido primero por la digestión y enseguida por decantación fácil, en tal caso el digestor proporciona una función dual en el ahorro de costos y en la reducción de la carga contaminante.

## II

### BENEFICIOS AMBIENTALES

Las aguas residuales y los lodos de aguas residuales son dos entidades distintas y se definen según el tratamiento recibido. El lodo de aguas residuales primario, el cual se ubica después, de que las aguas residuales crudas se incorporen al tratamiento y se decantan en un tanque de sedimento principal.

#### **II.1 Aguas Residuales y los lodos de aguas residuales.**

Los lodos activados secundarios o colocados se estacionan en un tanque después de que la actividad biológica se haya utilizado para oxidar el material orgánico de la alimentación de las aguas residuales a un tanque de aireación. En el Reino Unido cerca del 50% del lodo primario producido se trata usando la digestión anaeróbica generalmente en una temperatura mesofílica, pero de vez en cuando en temperaturas más bajas, alrededor 10 a 20°C. Los lodos secundarios también se alimentan a los digestores anaeróbicos si es posible, pero una vez que contengan poco material extraño de carbón para el uso de el a lado de las bacterias anaeróbicas; a las producciones del gas son algo más bajos que para los lodos primarios, por el peso de unidad de sólidos

Sin embargo, los microbios en el lodo activado serán los mas auto digestores anaeróbicamente y la masa total será reducida en volumen cuando es acompañada por la evolución del gas. La digestión anaeróbica fue introducida en el proceso del tratamiento de las aguas residuales en la parte anterior de este siglo, y una proporción de aumento de los lodos producidos fue alimentada a los digestores principalmente como los medios de la reducción del lodo y no sobre todo para la producción del gas.

En los trabajos muy grandes de las aguas residuales es, sin embargo, de mérito que los motores duales del combustible sean incorporados en

la electricidad que genera el sistema para producir energía de suplir el proceso efluente del tratamiento.

Es optimista decir, que la digestión anaeróbica proporciona no solamente un gas rico en metano, sino que también ayuda a solucionar uno de los problemas principales en la disposición del lodo del tratamiento de las aguas residuales es decir, la disposición del 1% residual que permanece después de que el proceso líquido del tratamiento sea completo es costosa y causa grandes peligros así como fastidio general. Su volumen representa el 95% de la materia suspendida y cerca del 60% de la carga original de DBO/DCO. Cada persona en el Reino Unido utiliza a subalternamente 270 y descarga 8 a 100 g de sólidos secos en ese líquido. En la mayoría de las aguas residuales el tratamiento trabaja, donde se mezclan los lodos primarios y secundarios, los sólidos un 4% secos que el lodo produce, contiene los sólidos volátiles del 70% y que es cerca de 3 litros de cabeza por día. Para los trabajos grandes de las aguas residuales tales como Modgen o

<b>TABLA 6</b>		
<b>EFFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS DIGESTORES DE DESECHOS DE AGUAS RESIDUALES</b>		
<b>Temperatura de digestión (°C)</b>	<b>Tiempo de Retención hidráulica (días)</b>	<b>Producción de gas (m<sup>3</sup>/Kg. de SV)</b>
8	120	--
10	90	0.45
15	60	0.53
20	45	0.61
30	30	0.76
Z		

Crosness en Londres, sirviendo a 1.5 millones de personas cada uno, la cantidad de lodo producida cada día es 4500 toneladas.

Así el tratamiento y la disposición de este lodo deben de ser "regulares, confiables, económicos, y ambientalmente aceptable". Los lodos primarios crudos son grasientos y olorosos, contienen patógenos, y son



difíciles de dirigir, requieren el condicionamiento adecuado para la disposición.

<b>DATOS DEL DISEÑO DE UN DIGESTOR SITUADO EN LA CIUDAD DE CHICAGO.</b>	
PARAMETRO	VALOR
Sólidos del digestor (ton/día)	100
Lodos sólidos (%)	3.3
Lodos volátiles (%)	67
Tiempo de retención hidráulica (días)	14
Sólidos volátiles	40-45
Rendimiento del gas (m <sup>3</sup> /kg SV)	1.1-1.3
Calor(kJ/m <sup>3</sup> )	22, 000-24,000
Temperatura(°C)	30-32
<b>Lodos del digestor</b>	
Lodos activados (%)	80-100
Lodos primarios (%)	0-20

Se ha recopilado una cantidad de información considerable sobre este período del funcionamiento general de los digestores del lodo de aguas residuales. Por ejemplo, el efecto de la temperatura sobre una amplia gama en producciones del gas se ha documentado bien (la tabla 6). Así las producciones relativamente altas del gas se obtienen en las temperaturas mesofílica en comparación con un número de materiales de desecho. Los estudios en la digestión termofílica de las aguas

<b>PROCESOS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA, COSTOS DE SÓLIDOS SECOS EN DÓLARES POR TONELADA</b>					
Costos (ítems)	Concentración de la alimentación (%)				
	3	6	10	15	20
Capital total	11.9	4.15	2.41	1.62	1.22
Digestores	5.8	2.96	1.8	1.23	0.93
Filtros	5.29	1.19	0.61	0.39	0.29
Operación total	3.17	1.52	1.01	0.79	0.66
Mezclado	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Calentando	1.98	0.65	0.65	0.47	0.36
Desecar	0.93	0.1	0.1	0.06	0.04
Costo total	14.96	3.42	3.42	2.41	1.88

*Nota: los datos enseñan 2.9 toneladas de aguas residuales secas por 100 toneladas de rechazo.*

residuales han indicado que ocurren las producciones disminuidas del gas cuando se aumenta la temperatura: de cerca de 0.65 agregó en 35° a 0.31 metros cúbicos/Kg., SV en 50°C. Se ha descrito un uso del digester de la alta tarifa de ser considerado como tales cuando un rato hidráulico de la retención 20-día era la normal y uno tales. Éste tenía una carga volátil de los sólidos de m<sup>3</sup>/día de 2.6 kilogramos, y empieza a subir el tiempo de 40, 50, y 65 días fueron giros para ser poder alimentar los lodos de 2, de 4, y del 6%, con tal que el pH fuera controlado entre pH 6.8 y 7.2 agregando la cal. Se ha demostrado posteriormente, sin embargo, que tiempos hidráulicos más bajos de la retención (6 a 10 días) son posibles para la digestión de las aguas residuales.

Se encontró que las producciones del gas en las aguas residuales que trabajan en los digestores en funcionamiento fueron agotadas por un promedio de él 40%, más el 10% del flujo de las aguas residuales que eran de origen industrial. También fue encontrado que, si ó la basura no industrial estaban presentes, los tiempos hidráulicos de la retención se podrían reducir a partir 40 a 11 días sin un efecto serio sobre la digestión y con un aumento triple en la producción del gas por el volumen de unidad del digester. Las faltas que ocurrieron eran debidas principalmente a los detergentes, los hidrocarburos tratados con cloro, y algunos desechos específicos.

Uno de los problemas del funcionamiento en los digestores, de las aguas residuales, en detalle, es el problema del retiro de la arena; es posible quitar todo este uniforme en el proceso más eficiente del retiro de la arena, y si esta arena se deposita en el piso del digester, la capacidad eficaz de la digestión será reducida. Si es incontrolada, esta reducción puede ser hasta un tercio de las capacidades.

Las válvulas convenientes para el retiro periódico de la arena se deben incorporar en el diseño de digestores, especialmente para el lodo de aguas residuales, para reducir cualquier desgaste en las bombas que se pueden utilizar para la recirculación del contenido.

<b>TABLA 9</b>			
<b>COSTOS ESTIMADOS DE DIFERENTES RUTAS DE UNA DISPOSICION DE DESECHOS.</b>			
<b>Población (x10<sup>3</sup>)</b>			
<b>Ruta de disposición</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>Costos por tonelada (£/tonelada de sólido seco)</b>			
<b>Prensa endurecida de tierra</b>	<b>31.5</b>	<b>19.3</b>	<b>15.1</b>
<b>Líquido de aguas residuales en la tierra-Cal</b>	<b>30.2</b>	<b>23.3</b>	<b>27.8</b>
<b>Costos extras (£/tonelada de sólido seco)</b>			
<b>Digestión- de las aguas residuales en la tierra.</b>	<b>9.1</b>	<b>5</b>	<b>6.3</b>
<b>Secado flash.</b>	<b>48.1</b>	<b>32.7</b>	<b>21.6</b>

<b>TABLA 10</b>	
<b>MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LOS COSTOS Y LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.</b>	
<b>£/tonelada de sólido seco</b>	
<b>Tratamiento de laguna- cisterna en la tierra</b>	<b>19</b>
<b>Cinturón de presión</b>	<b>27</b>
<b>Espesar- estabilizador de cal</b>	<b>28</b>
<b>Espesar- presión de placas- cal</b>	<b>33</b>
<b>Espesar-presión de placas-(poli electrolitos)</b>	<b>31</b>
<b>Digestión mesofílica</b>	<b>35</b>

<b>TABLA 11</b>		
<b>DBO Y SÓLIDOS RELACIONADOS CON LOS DESPERDICIOS DE LAS FABRICAR DE CERVEZA Y LAS DESTILERÍAS.</b>		
<b>Desperdicio del licor</b>	<b>Sólidos (%)</b>	<b>DBO (mg/l)</b>
<b>Presión del licor en la cervecería</b>	<b>3</b>	<b>10000-25000</b>
<b>Plante de levadura</b>	<b>01-Mar</b>	<b>7000-14000</b>
<b>Alcohol industrial</b>	<b>5</b>	<b>22000</b>
<b>Destilado derramado</b>	<b>4.5-6</b>	<b>15000-20000</b>
<b>Desperdicio del ron.</b>	<b>0.055 Kg./l</b>	

Para determinado funcionamiento de un digester típico del lodo de aguas residuales, la tabla 7 proporciona una buena base para los cálculos en cualquier sistema de las aguas residuales.

TABLA 12	
EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS RELACIONADOS CON LOS DESPERDICIOS DE LA FERMENTACIÓN.	
Tratamiento	Reducción de DBO (%)
Químicos	10
Electro diálisis	28
Lodos activos	30
Filtros por goteo	72
Digestión anaeróbica	83

TABLA 13			
RENDIMIENTO DEL GAS DE LOS DESECHOS DE LAS CERVECERÍAS.			
Desecho	Rendimiento del gas (l/, digestor/día)	Temperatura (°C)	Tiempo retenido (días)
Vino sin licor.	11.8	33	2
Desecho de levadura.	4.9	33	2
Derrame de melaza.	3.9	33	3.75

Debe ser precisado que cualesquiera de los parámetros pueden cambiar debido a las circunstancias y al carácter de la alimentación del digestor, y los datos del funcionamiento sobre la producción del gas se pueden mejorar o reducir de hecho dependiendo de la eficacia de la mezcla y de la presencia de materiales tóxicos. En términos de los costos para el tratamiento del lodo, la influencia de los tiempos de la retención y la temperatura son importantes. La reducción del lodo puede ser tan baja como 17.4 % y tan arriba como 61.8% dependiendo de estos dos parámetros. La cantidad de agua presente en el lodo no es considerada sino es importante en términos de los costos de la calefacción en los digestores. Los costos de elaboración de digestores anaeróbicos se puede determinar en términos de dólares por la tonelada de sólidos secos y éstos son influenciados otra vez por la cantidad de sólidos secos en la mezcla de la alimentación. Aumentando los sólidos que se alimentan a partir el 3 al 6% pueden disminuir el tratamiento total del digestor costado por 60 %, y éste destaca la necesidad de consolidar los sólidos de la alimentación al digestor tanto como sea posible. Así el uso de un tanque que se coloca antes de la alimentación es esencial si usa los lodos primarios o secundarios solamente o en mezclas. Los problemas de costo y de la economía serán ocupados en

del capítulo 12. El valor del gas producido usando el lodo de aguas residuales, sin embargo, está la señal de luz por una unidad del digestor que funciona en la ciudad de Los Ángeles, California donde estaba a \$80 000 dólares el rédito para la venta del gas de sobra por el año (1976/77 año de los precios). En trabajos de las aguas residuales de Londres, el gas del lodo producido era calculado para ser 22.356 MJ/m<sup>3</sup> y el valor del gas producido así era £817, 000(1977). Con respecto a la disposición del lodo de aguas residuales, la digestión anaeróbica ofrece muchas ventajas incluyendo una reducción considerable en la disposición total del volumen, la reducción del olor y de ciertos patógenos. La tabla 9 indica los costos relativos de diversos métodos de disposición del lodo de aguas residuales. Los costos adicionales incurridos en la digestión y la sequedad están sobre los costos de producción y de ubicación del lodo, la digestión para ser tan costosa como la placa que presiona, pero puede no incluir una consideración para el valor del gas. Es este valor que hace incluso digestión anaeróbica del lodo de aguas residuales un asunto atractivo del punto de vista económico.

## **II.2 Fuentes de Impacto Ambiental**

### **II.2.1 Cervecerías y destilerías.**

La producción potencial del metano en los procesos de fermentación alcohólicos se destaca cuando se consideran los volúmenes grandes y las altas concentraciones del DBO. Las escalas típicas de los volúmenes y de cargamentos orgánicos de un sitio de la cervecería y de la destilería se muestran en la tabla 11.

Mientras que el potencial está claro, no se emplea hasta ahora ningún uso comercial para el tratamiento anaeróbico de tales basuras, con la excepción quizás de la digestión de los lodos producidos en el tratamiento de las aguas residuales tratadas. Se ha demostrado que para la reducción de la carga de la contaminación en una fermentación efluente, la digestión anaeróbica produce el retiro más grande. Mucho

del trabajo temprano sobre la digestión de los efluentes de la fermentación fue hecho usando los digestores de la escala de laboratorio para determinar el potencial del proceso. Para una basura de la destilería, los tiempos hidráulicos de la retención de hasta sólo 22 horas producidas sobre la reducción del DBO del 90% en una temperatura de 27°C. El DBO en la alimentación era cerca de 1000 mg/l y el índice de la producción del gas era cerca de 0.4 digester de 1/l por día. No se procuró ningún análisis del gas, y ni uno ni otro estaba allí para una declaración referente a qué período seguía siendo estable para el digester mientras que producía el gas. Donde el recipiente del vino-licor fue utilizado como la alimentación a un digester, donde otros trabajadores obtuvieron un promedio de la conversión de 80 a del 85% del carbón orgánico en el digester, que provee de gas incluso en un período del digester de abajo a 2 días. La temperatura de la operación era 33°C. El gas tenía un valor de 21.61% MJ/m<sup>3</sup> (CH<sub>4</sub> el 58%; el CO<sub>2</sub> de el 41%), y la producción eran cerca de 24 veces el volumen de la alimentación. Otra vez sin embargo, no se dio ninguna indicación en cuanto a la estabilidad del proceso. Usando los mismos digestores la basura de la levadura produjo mucho menos gas por el volumen de unidad de alimentación (véase la tabla 13). Estos trabajadores podían obtener las altas cargas de alimentación orgánicas (11.7 kilogramos de DBO por el metro cúbico del digester por día) en el digester por ninguna reinoculación con los organismos del digester junto con la alimentación de la entrada. Se ha observado que la cantidad de sulfato presente en esta alimentación era también baja; las altas concentraciones del sulfato inhiben metanogénesis por la producción de sulfuros tóxicos. Otros trabajadores sin el procedimiento de la reinoculación no han podido repetir las figuras anteriores, obteniendo el DBO solamente 4.0 Kg. por el digester del metro cúbico por día en un rato de la retención de 6 días. La temperatura de la operación era igual en 33°C. El trabajo similar en el Reino Unido en los laboratorios de investigación de la contaminación del agua que usaban basuras de la destilería del whisky

de la malta demostró otra vez que el tiempo de la retención de alrededor 6 días era con lodo posible reciclado, produciendo cerca de 16 veces el volumen de gas por el volumen de alimentación con un cargamento orgánico de 1.923 kilogramos de DBO por el metro cúbico del digester por día.

En cargamentos algo más bajos de la India que éstos obtenidos en los E.U.A., debido a la ausencia del lodo reciclado y los tiempos hidráulicos totales más largos subsecuentes de la retención de 60 días (40 días en el primario y 20 días en el secundario de un digester de dos etapas). En este caso el cargamento estaba entre 0.385 y 0.737 kilogramo de DBO por el metro cúbico del digester por día. Con la recirculación del gas usando el bióxido de carbono esta figura fue mejorada sobre a 3.01 kilogramos de DBO por el metro cúbico del digester por día en el tiempo de la retención de 10 días produciendo 25 volúmenes de gas por el volumen de alimentación. La falta fue observada en un índice de cargamento de 3.782 kilogramos de DBO por el metro cúbico del digester por día en el tiempo de la retención de 8 días. Una comparación en dos diversas temperaturas fue hecha usando los digestores del laboratorio en el mesofílica (35°C), y las gamas termofílica (55°C). Usando la basura de la destilería de la melaza de la remolacha como la alimentación a los dos sistemas de digestores, los índices de cargamento de 3 Kg./m<sup>3</sup>/día fueron obtenidos en 10 días con ambos digestores, pero el sistema termofílica produjo el retiro 84.25% del DBO comparado con 80.6% para el sistema mesofílica. En 55°C la digestión fue dicha para ser tan buena como en 35°C, pero los mayores costos de producir la temperatura más alta probablemente no harían de la digestión termofílica una posibilidad económica. Los usos tempranos (1936) de los digestores de una escala más grande confirmaron los estudios del laboratorio para la digestión de las basuras de la destilería. Dos digestores termofílica con la capacidad de 16.3 m<sup>3</sup> (2.7 metros de diámetro) fueron construidos con una bóveda flotante y alimentados con los derrames de la destilería en los sólidos de 3 a del 4% (sólidos

volátiles del 80%). Había una reducción de la carga del DBO de 85 al 90% en los digestores, el efluente de los cuales fue alimentado posteriormente a los filtros de goteo. Así una solución práctica de las descargas efluentes de la destilería que trataban fue encontrada que produjeron un DBO efluente de en medio 40 a 104 mg/l después de la filtración de una fuerza inicial antes de la digestión de 15, 000 a 16, 000 mg/l. que el gas producido era 0.686 m<sup>3</sup>/Kg.. SV agregados. El tiempo hidráulico de la retención funcionado era 13 días para los digestores. Otros trabajadores han funcionado las plantas experimentales con éxito en un tiempo más bajo de la retención apenas como con los digestores de la escala de laboratorio. Un índice de cargamento de 2.19 kilogramos de DBO por el metro cúbico del digestor por fue obtenido en un tiempo de la retención de 1.5 días que alimentaba un digestor de la capacidad de 300 g con las basuras de la cervecería. Un digestor mucho más grande fue marchado en Sudáfrica (653 m<sup>3</sup>) para el tratamiento del licor de la destilería de vino. Un índice de cargamento de 1.6 kilogramos de DBO por el metro cúbico del digestor por día en un rato de la retención de 5 a 7 días fue obtenido en una temperatura de funcionamiento de 30°C. Esta fue reducida de vez en cuando a 25°C debido a pérdidas de calor en el invierno. Los problemas del digestor y de las pérdidas de calor más grandes se discuten antes. Sin embargo, la producción similar del gas fue obtenida en este digestor grande como ésas obtenidas en unidades más pequeñas de la escala del piloto o de laboratorio. Debe ser observado que la fermentación y los efluentes de la destilería mientras que son ricos en carbón orgánico son probables ser deficientes en los elementos esenciales del nitrógeno y del fósforo para el crecimiento de la población microbiana del digestor. Se ha sugerido que el DBO al cociente del nitrógeno estuviera en la gama 17:1 a 32:1 para el tratamiento aerobio de basuras, pero con los sistemas anaeróbicos la representación es la más difícil de obtener. Las basuras de la destilería tienen generalmente un cociente más alto con 40:1 a 50:1 cotizados. Los experimentos



usando la adición del carbonato de amonio para dar cocientes de 42:1, 20:1, y 10:1, respectivamente, indicaron que las concentraciones más altas del nitrógeno, no eran ni necesarias ni beneficiosas. El digestor grande sudafricano funcionó con éxito, con la adición nutriente, en los cocientes de 71:1 y 33:1 de fósforo y de nitrógeno, respectivamente. El digestor de E.U.A funcionó en 8:1, DBO al nitrógeno. De hecho, el enriquecimiento nutriente no mejoró el funcionamiento. Otros elementos se encontraron presentes en licor pasado, eran calcio, magnesio, silicio, sodio, y potasio y son suficientes para el proceso de la digestión. Se ha calculado que el nitrógeno y el fósforo requeridos entrados para los digestores es  $0.11 A$  y  $0.02 A$ , respectivamente, donde  $A$  es la producción de sólidos biológicos por día.

Como alimentación potencial para la producción del metano usable como energía en la elaboración de la cerveza o el proceso de la destilería, ofertas anaeróbicas de la digestión y alternativa interesante al tratamiento aerobio costoso o el anular a las alcantarillas. Estas basuras son generalmente ricas en material orgánico y con el equilibrio nutriente correcto son ideales para la producción del metano. Debido a los volúmenes grandes producidos, especialmente en cervecerías, los digestores grandes pueden ser requeridos, pero esto puede ser compensado si los tiempos hidráulicos cortos de la retención en los digestores pueden ser trabajados. En la tabla 14), hay una lista de los sistemas del digestor que funcionan en la fermentación comparado con el tipo de desecho. Una relación cercana entre el laboratorio, el piloto, y las operaciones da tonalidad completa para el uso extenso de los sistemas del digestor para el tratamiento de tales desechos.

TABLA 14

CONDICIONES DE OPERACION Y RENDIMIENTO DE LOS DIGESTORES ANAEROBICOS DE LOS DESECHOS RECIBIDOS DE LA FERMENTACION											
Tipo de desecho	Sistema del digestor	Temperatura (°C)	DBO de tipo de carga (kg/m <sup>3</sup> )	% reduccion de DBO	Produccion de gas (vol/vol) de alimentacion.	m <sup>3</sup> Kg de SV	m <sup>3</sup> Kg de DBO	Proporcion de DBO	Gas (%) CO	Tiempo de retencion (dias)	AGV concentracion (mg/l)
Melaza de la destileria	Laboratorio	37	8.74	93.4			8.9	58:01:00	38.64	28	
		37	3	95.5			8.87	59:01:00	51.49:00	18	
Vino	Gran escala	38	1.6	96	14			71:01:00		7.2	58 100
Cerveza	Escala piloto	—	1.28 7.24	92 97				5 65 1		2.5	
Desechos destileria	Escala laboratorio	54		85 98		8.63				6.5	
		38	—	98						7.2	—
destileria	Escala laboratorio	38		97						5.3	
		33		96						6.2	
		33	—	85						6.2	
		35		83						8.92	
		35		53						8.92	
Desecho de levadura	Escala laboratorio	—	—			8.78			8.58:0277 78	—	
		—	—			8.44	—		1.0111111 11		
Melaza	Escala laboratorio	55	1	92.3						25	2321
			2	85.2						15	2679
			3	84.2						18	3668
Whisky de malta	Escala laboratorio	33	1.92	65.8	16.4					6.2	
Destileria	Escala laboratorio	33	—	95			8.62			2	
Vino sin licor	Escala laboratorio	33	—	96.4	14.2				41 4:58 4	2	35
Desechos del vino		33	16 3 2				8.62				
							1.15				

**II.2.2 Transformación de los alimentos**

La digestión anaeróbica se ha utilizado a menudo para el tratamiento de la basura de operaciones de la transformación de los alimentos. Éstos han incluido el guisante, la calabaza, y basuras del tomate y basuras del proceso del arroz y de leche. Propia experiencia de los autores de tratar basuras de una planta grande de la producción de queso también ha demostrado la viabilidad del proceso para tales desechos (véase la tabla 15). El proceso anaeróbico del contacto se ha utilizado en una escala experimental para tratar basuras sintéticas de la leche que el grado de retiro del DBO depende de la tarifa de cargamento pues uno esperaría con un retiro del 90% que es alcanzado en un índice de cargamento de cerca de 3.5 kilogramos de DBO por el metro cúbico por día los promedios de un número de lecturas se resumen en la tabla 15 y demostraría un retiro del DBO del 93% en un índice de cargamento medio del DBO 2.5% por el metro cúbico por día. El gas producido tiene un alto contenido del metano del cerca de 85%. La producción del almidón y de la glucosa del grano del maíz es difícil y

resultar inútil de tratar por métodos anaeróbicos. La digestión anaeróbica, sin embargo, se ha empleado con éxito para estabilizarlo que usaba un diseño de Dorr Oliver "Clarigester"; esto era una planta del mismo tamaño que trataba la basura de una fábrica y que reducía el DBO por el casi 90%. Los periodos de validez variaron a partir 2.5 a 4.5 días en las tarifas de cargamento entre 2.4 y 1.44 kilogramos SV/m<sup>3</sup>/día con una temperatura inútil que en el promedio era 23°C. No se agregó ningún calor adicional al digestor con excepción a la basura entrante caliente que varió algo entre 27°C en verano y un mínimo de 20°C en condiciones de funcionamiento del invierno. El efluente del digestor era conveniente para la descarga a otro tratamiento de la alcantarilla o con, por ejemplo, los filtros biológicos, y exceso del lodo restante en el digestor se podrían secar para producir un olor estable del material del humus relativamente libremente. Una de las plantas a gama completa más recientes que funcionan en el Reino Unido en las basuras desde una fábrica del trigo almidón/gluten/dextrosa implica el sistema de Bioenergía. La planta se demanda para tratar el equivalente, en términos de la demanda del oxígeno, a la planta local de las aguas residuales que cubre un área de 4 a 6 ha. Un nivel de entrada de 136 m<sup>3</sup>/día en el producto del contenido de en medio 0.2 a 1.3% sólidos las cantidades grandes del gas (cerca de 100 m<sup>3</sup>/día) y del DBO es reducido por el cerca de 96% que deja el digestor en un estado conveniente para la descarga a una alcantarilla.

Otra planta del diseño similar pero mejorado está funcionando en Burdeos, Francia también en el efluente del trigo almidón/gluten.

TABLA 15

## INSTALACIÓN DE PROCESOS DE ALIMENTOS RENDIMIENTOS DE LA OPERACIÓN DEL DIGESTOR.

Materiales	Tiempo de retención hidráulica (días)	Reducción de DBO de (%)	Reducción de Sólidos (%)	Reducción de DCO (%)	Tipo de carga				Producción de gas				
					Kg DCO/m <sup>3</sup> /día	Kg SV/m <sup>3</sup> /día	Kg DBO/m <sup>3</sup> /día	% CH <sub>4</sub>	sumados m <sup>3</sup> /kg SV	sumados m <sup>3</sup> /kg DBO	sumados m <sup>3</sup> /kg ST	destruidos m <sup>3</sup> /kg SV	destruidos m <sup>3</sup> /kg DBO
Guisantes enlatados	3.5	75	--	--	--	11.2	--	--	--	--	--	0.87	--
Arroz procesado	1.2	92	--	--	--	1.7	--	--	--	--	--	--	--
Calabaza enlatada	--	--	--	--	--	0.48	--	--	--	--	--	--	--
					--	0.74	--	--	--	--	--	--	--
Leche procesada	6	99.5	--	--	--	0.54	--	--	--	0.85	--	--	--
Tomate enlatado	--	--	--	--	--	0.18	--	--	--	--	--	--	--
Leche sintética	6.3	93	51	--	--	--	2.5	85	--	--	--	0.87	--
Fécula de maíz	3.3	88	70.6	--	--	--	1.76	69	--	--	--	0.58	--
Desechos diario	--	--	--	--	--	--	--	75	1	--	--	--	--
Dextrosa	1.34	--	--	96	1.43	--	--	--	--	--	--	--	--
Alimentos procesados	3.56	81.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Alimentos procesados	0.54	25.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### II.2.3 Desechos de vegetales y acopio de energía.

Debido a la escasez aguda proyectada de fuentes de energía convenientes, se ha despertado el interés considerable en la posibilidad de crecer cosechas como material de la alimentación para los digestores. El uso de la energía de la luz del sol de convertir las sales gaseosas del bióxido y del alimento de carbono en las células vivas es cerca de 0.5 a el 1% eficientes, pero esa energía está "libre". Así el material orgánico producido con esta energía reductora biológica puede ser grande sobre un área dada de la tierra. La tabla 16 da una idea de la producción de cosechas por acre y los costos relevantes. Es de vital importancia que la entrada de energía que produce una cosecha de energía se debe guardar a un mínimo. Para cualquier proyecto de esta

clase deben ser las áreas viables, disposiciones grandes de tierra, no son convenientes para producir una cosecha de alta calidad de la proteína, por ejemplo; en California se indica que hay ( $1.46 \times 10^{16}$  ha) de cosecha no recolectada y ( $0.8 \times 10^6$  ha) del arbolado que se podría utilizar para este propósito. La cosecha solamente produciría  $1.46 \times 10^6 \times 18.63$  toneladas/año (si se asume que 18.63 sólidos de toneladas/acre/seco producidos en promedio). Ésta sería las toneladas  $27 \times 10^6$  y en el 80% SV igualaría las toneladas  $21.6 \times 10^6$  SV por año.

California está se ha calculado que sobre el 10% de la necesidad energética del estado se podría proporcionar para de esta manera compensada SV la figura antedicha sería el costos de producir la cosecha, que en un promedio de \$0.035 por el kilogramo sería  $1000 \times 1.46 \times 18.63 \times 10^6 \times 0.035 = \$951.9 \times 10^6$ .

Cosecha	Rendimiento del mercado (tonelada/acres)	Rendimiento (problema de secado)	Costos del problema de secado (\$/kg)
		(toneladas/acres)	
Alfalfa	7	5.6	0.035
Ensilaje de maíz	25	7.5	0.025
	45	12.6	0.024
Hierba verde sudan	48	5.8	0.03

Cuando la alimentación de las algas centrifugadas al digestor se produjo 0.375 a 0.5 m<sup>3</sup>/Kg.. SV de material de algas agregado. Los digestores fueron funcionados en 35 y 50°C por lo tanto la gama de las producciones del gas con el último produciendo una destrucción del 54% SV y del anterior entre 36 a el 44%. Desafortunadamente las algas fueron mantenidas calientes en 27°C y la luz artificial fue aplicada, y ésta detrae de la viabilidad económica de tal proceso. Sin embargo, el valor de usar algas como sistema de tratamiento terciario en quitar los alimentos de la contaminación es importante y la digestión es los medios de extraer valor adicional del proceso total.

La digestión de las basuras de la planta se puede dividir en las cosechas crecidas específicamente para los propósitos de la energía y las basuras agrícolas. Las algas tienen un valor de 5 a 6 Kcal. /g SV y la digestión puede rendir el 50% de esta energía en la forma del metano. La utilización de algas como alimentación del digestor tiene una prima en que el licor flotante del residuo del digestor constituiría una solución nutriente ideal para el crecimiento de algas. Esto se emplea en la India y las Filipinas con una puntería primera de producir suplementos alimenticios.

Para la digestión de las algas del agua de mar tales como algas marinas un sistema dulce o del agua de mar de la digestión podía ser empleado. Un digestor operado por los United Aircraft Research Laboratories, que produjo un sistema dulce de 0.25 m<sup>3</sup> por kilogramo de gas por los ST del agregados al digestor, contenido bajo del metano con (33 a el 44%). Otro sistema dulce produjo ST de 0.12 a 1.13 metros cúbicos/Kg., usando la alga como alimento. La retención de la alimentación en ambos digestores era alrededor 20 días. Una extensión de este trabajo se ha propuesto para cultivar de las áreas grandes del mar para que las algas marinas alimenten los digestores anaeróbicos. Hay una cierta duda, sin embargo, en cuanto a la facilidad de la digestión del alga que demuestra una cierta resistencia al ataque hidrolítico y da producciones relativamente pobres del gas, aunque potencialmente debe ser bueno puesto que ocurrieron los ácidos grasos volátiles (AVG) variados entre 5000 a 14000 mg/l una cierta inhibición del proceso.

Otro sistema funcionó en la universidad de cálculos teóricos únicos ligados Pennsylvania a los usos prácticos. Determinados que el área requerida para producir los E.U.A provee de gas necesidades serían 10<sup>5</sup> milla<sup>2</sup>.

TABLA 17

## ENERGÍA POTENCIAL DE LA DIGESTIÓN DE LOS CULTIVOS RENDIMIENTOS DE LOS GASES DE LA COSECHA

	Carga (g ST/ l/ día)	Rendimiento del gas (l/día)	Tiempo de retención (días)	% CH4	AGV (mg/l)	Temperatura (°C)
Algas	2	0.14-0.18	20	50	--	33
( <i>Ascophyllum nodatum</i> )	2	0.36	20	55	10000-11000	39
Algas gigantes	2	0.36	20	33	1000-15000	33
( <i>Macrocystis pyrifera</i> )	2	0.36	20	40	--	39
Jacinto de agua	4	0.09-0.14	10	55	50-400	48
Alga fresca de agua	4	0.89	10	--	1400-2000	48

TABLA 18

## Producción primaria de hectáreas de cultivos por año (1 año 330 días de producción)

Cultivo	Rendimiento de cultivo(kg/ha)	Energía introducida (x106 kg/cal)	Energía Introducida/energía obtenida
Alfalfa	6451	2694	0.24
Ensilaje de maíz	30200	5493	0.23
Mandioca	5824	0.016	0.0008
Plankton marino	39764	61.1	0.31

TABLA 19

## PRODUCCIÓN ANUAL DE DESECHOS ORGÁNICOS DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA Y MATERIALES DE AGRICULTURA.

Materiales sin tratar	Producción en toneladas (secado en toneladas x 106)
Bagazo de azúcar de caño	55
Desecho de trigo	550
Hojarasca de arroz	180
Desecho de avena	50
Desecho de cebada	40
Bagazo de centeno	60
Desecho de semillas	2
Desechos de semillas de hierba	3
Desechos totales	885
Yute	4.425
Kenaf	1.674
Subtotal de fibras	6.099
Sisal	0.648
Abacá	0.092
Herequen	0.164
Subtotal de fibras de hojas	0.904
Junco	30
Bambú	30
Papiros	5
esparto	0.5
sabat	0.2
Fibra de alimento de algodón	13.5
Tamo de algodón	1
Total	1027.203

TABLA 20		
CONTENIDO DE NITRÓGENO Y PROPORCIÓN DE C/N EN LOS DESECHOS DE LOS MATERIALES VEGETALES		
	Nitrógeno total (%)	Proporción de C/N
<b>Alimento semillas</b>		
Semilla de soja	7.6	4.7
Semilla de algodón	7.2	5.4
Ricino	5	9.4
Semilla de cacao	2.9	14.7
Cacao de suelo	3.1	19
<b>Materiales de plantas</b>		
Heno de alfalfa	2.8	20.8
Tallo de tabaco	1	28.9
Casco de cacahuete	1.2	53.5
Desechos de trigo	0.3	197

TABLA 21			
PROPORCIÓN DE GAS PRODUCIDO EN LOS AÑOS 20 POR FERMENTACIÓN ANAERÓBICA DE LA CELULOSA DE LOS MATERIALES.			
Materiales	Metano (%)	Hidrogeno (%)	Dióxido de carbón (%)
Papel filtro	81.9	14.5	3.5
Periódico	88.8	4.4	6.8
Papel de escritura	76.6	12.6	8.7
Piel del plátano	80.6	3.1	7.4
Tallo del plátano	87	5.4	7.5

TABLA 22					
EFECTOS DE LA RETENCIÓN DEL TIEMPO A UN RENDIMIENTO DE 55°C					
	RETENCIÓN DEL TIEMPO HIDRAULICA EN DÍAS				
Rendimiento	3	5	10	15	24
Producción total del gas (l/día)	1.7	2.35	0.93	0.91	0.99
% De metano	74	72	69	58	55
L gas/ l digestor/ día	0.28	0.39	0.16	0.15	0.17
L gas/ kg sólidos/ día	5.6	7.8	3.2	2.1	3.4
Sólidos totales removidos (%)	30	14	16	30	18

TABLA 23						
PROPIEDADES DE LAS HIERBAS FRESCAS Y PASADAS.						
Herbaje	Valor calorífico	Humedad (%)	Volatilidad	Ceniza	Carbón	Proteínas
	mJ/Kg					
Fresca	19.19	10.1	89.9	10.2	46.2	26.9
Pasada	18.73	7.8	86.5	13.5	45.8	30



	<b>Desperdicio sin tratar</b>	<b>Aguas residuales</b>	<b>Eliminación (%)</b>	<b>Cargas (kg/m<sup>3</sup>/día)</b>
<b>DBO, ( mg/ l)</b>	<b>6280</b>	<b>755</b>	<b>88</b>	<b>1.76</b>
<b>Carbono orgánico (mg/l)</b>	<b>3250</b>	<b>317</b>	<b>90.2</b>	<b>0.98</b>
<b>Sólidos totales</b>	<b>9378</b>	<b>2756</b>	<b>70.6</b>	<b>--</b>
<b>Sólidos volátiles</b>	<b>6556</b>	<b>623</b>	<b>90.5</b>	<b>1.92</b>

<b>Carga orgánica (kg/m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>ALIMENTACION</b>			<b>AGUAS RESIDUALES</b>		
	<b>DCO, (mg/ l)</b>	<b>DBO, (mg/ l)</b>	<b>Acido</b>	<b>DCO, (mg/ l)</b>	<b>DBO, (mg/ l)</b>	<b>Acido</b>
			<b>(mg/ l)</b>			<b>(mg/ l)</b>
<b>0.192</b>	<b>330</b>	<b>180</b>	<b>33.2</b>	<b>112</b>	<b>77</b>	<b>16</b>
<b>1.532</b>	<b>2640</b>	<b>1360</b>	<b>127</b>	<b>259</b>	<b>180</b>	<b>64</b>
<b>3.264</b>	<b>5610</b>	<b>3550</b>	<b>370.1</b>	<b>4007</b>	<b>1952</b>	<b>200</b>

Puesto que ésta es área grande de la tierra, la consideración de dar algo al gas del producto de la producción orgánica en los océanos. Los digestores del laboratorio fueron andados y diseñados para digerir el papel, la hierba, la basura de casa, algas unicelulares, el jacinto del agua, malas hierbas del mar, el estiércol de ganados, e incluso el alimento de perro seco. Algunos de los resultados se tabulan en la tabla 17.

Aunque las producciones de gas eran bajas para la especie marina de la alga marina comparada con las algas dulces, y la valoración de la producción potencial de la alimentación en el mar fue hecha. La producción a partir del estiramiento de 400 millas del alga marina en la corriente de California sería  $1.37 \times 10^{15}$  KJ/año con los costos de producir el combustible en \$5.0 por  $10^6$  KJ/año.

El costo puede ser partido en dos permitiendo que las corrientes ayuden a cosechar. La cultura marina del mar profundo es también una posibilidad, pero estudios más cuidadosos de las tarifas y de las producciones de crecimiento son esenciales aquí. Los experimentos conducidos en un proyecto de NASSA han demostrado que 0.45 kilogramo del jacinto del agua produciría cerca de 0.17 metros cúbicos del gas de metano y que 0.4 ha rendiría el equivalente de 540 l de aceite por día. Estos experimentos fueron conducidos en escala de laboratorio hornada-alimentaron los digestores en el tiempo de la retención de 90 días.

TABLA 26

**RENDIMIENTO DEL GAS DE DIFERENTES DESPERDICIOS DE VEGETALES ASI COMO LA RELACIÓN CON LAS AGUAS RESIDUALES Y LA BASURA.**

RENDIMIENTO DEL GAS				
Desperdicio sólido natural	m <sup>3</sup> /kg ST/día	m <sup>3</sup> /kg SV	Metano (%)	Tiempo de retención (días).
Lodos de aguas residuales	0.43	0.61	78	16
Basura municipal	0.61	0.63	62	12
Desperdicio de levadura, lodos.	0.49	0.79	85	--
Desperdicio de papel	0.25	--	60	--
Paja	0.35	0.37	78	24
Papa	0.53	0.61	75	6
Maíz	0.49	0.52	83	10
Remolacha	0.46	0.5	85	4
Pasto	0.5	0.56	84	8
Escoba	0.44	0.44	76	14
Juncos	0.29	0.31	79	36

En términos de las cosechas de energía crecientes, particularmente en agua marina o dulce, la entrada de energía a su producción es de vital importancia la digestión subsiguiente va a ser considerada. Por ejemplo, la tabla 18(ver apéndice) indica la producción primaria del material

orgánico para las cosechas en tierra y en agua. Aunque la entrada de energía mojada es alta para la cultura marina, los fertilizantes artificiales no se agregan y la producción potencial de la proteína animal es digna de la consideración el abono de la cual se podría utilizar para alimentar un digestor. La producción al menos primaria para alimentar directamente a los digestores no aparecería ser un asunto económico. Cuál es quizás un ejercicio más provechoso el de determinar la producción en cosechas agrícolas es de la producción global de la fibra. Éstos se contornean en la tabla 19 (ver apéndice) e indican el potencial para la generación del metano, pero hasta ahora solamente una fracción pequeña se utiliza como tal. En términos de dar vuelta material en energía útil, una contribución económica apropiada debe ser hecha y apropiarse de interés que se demuestre en esta área en particular, discutido anteriormente.

La digestión real de algunas de las basuras vegetales citadas arriba aparece buena en algunos casos y ciertamente la concentración relativa del fósforo, del nitrógeno, y del potasio debe ser adecuada conforme a la tabla 20. Un cierto trabajo temprano sobre la digestión de la basura vegetal indicó la viabilidad de producir el gas útil de tales materiales. Las producciones del gas estaban de la orden de 0.05 volúmenes de gas por el volumen del digestor por día y los porcentajes del gas se demuestran en la tabla 21.

Mientras que las altas concentraciones del metano y del hidrógeno son inusuales por una experiencia más reciente, en ellas la manera de la cual los materiales celulósicos producen fácilmente la producción del metano. Usado de las algas marina fue utilizado recientemente como material que comenzaba para la producción del gas del digestor. Una producción de metano cúbico de 0.41 metro por el kilogramo de material orgánico fue producida, con un volumen igual de bióxido de carbono. Tratamiento previo usando el tiempo del 1% en una base del peso fresco del alga marina (11% con una base del peso seco), creciente

la producción del gas debido al pre-hidrólisis químico de la celulosa y lingo-celulosa. Los digestores de 50 l eran funcionados a 37°C en el tiempo hidráulico de la retención de 25 días. Una controversia existe si en temperaturas más altas producen una ventaja en términos de la producción del gas y baja tiempo hidráulico de la retención. Usando el papel prensa destrozado un digestor del laboratorio fue funcionado en 55°C para estimar producciones del gas del digestor en diverso tiempo de la retención. La productividad máxima ocurrió en un rato de la retención de 5 días usando una alimentación de los sólidos totales del 5%. El índice de la producción del gas fue relacionado con el cociente (propílico, butírico....) de los ácidos del gas etc. En temperaturas más altas se dice que las producciones más altas del gas están producidas de la descomposición dirigida de los ácidos grasos de cadena más largos directos al metano. El efecto del tiempo de la retención en la producción del gas se demuestra en la tabla 22.

Mientras que los tiempos bajos de la retención pueden ser llevados con temperaturas más altas del digestor, en este caso que las producciones del gas por la unidad de sólidos volátiles eran inferiores a los digestores funcionaron en 30 a 37°C. Un número de otros desechos de vehículos se han utilizado como alimentaciones a los digestores anaeróbicos. Por ejemplo, en granjas tropicales donde las basuras del abono animal disponibles, celulósicas tales como hierba del elefante puede ser utilizado. Tal digestor ha funcionado en África del este y era hornada en las temperaturas de funcionamiento de 20 a 22°C y los tiempos de la retención de 40 a 60 días. Otros materiales de desecho tropicales que podrían ser utilizados incluyen la patata dulce, tapas, el papiro, la basura del sisal, y peladuras del llantén que la adición del bastón de azúcar también se ha demostrado para simular el índice de la producción del gas del estiércol de ganados, aunque baja la concentración del metano levemente. El uso de la hierba como alimentación para la digestión anaeróbica se ha estudiado recientemente donde los cortes del césped recogidas (longitud 60 a 100

milímetros) después de ser cambiada la tierra para 24 a 48 horas que fueron almacenadas y comparadas las características de la hierba fresca y envejecida.

Las temperaturas de la operación del digestor eran 30, 35, 40, 50, y 55°C, con 40° demostrando las mejores producciones del gas con el metano producido en el 51% del valor original de los sólidos. Las partículas clasificadas más grandes aparecían producir un índice inferior de la producción del gas. En Glasgow, Escocia, un digestor (50 m<sup>3</sup>) es instalado para dirigir invernaderos próximos y la alimentación se piensa para ser recortes de la hierba del departamento de los parques muchas basuras vegetales tan bien son fuentes potenciales de la energía del metano y también tienen una alta carga de la contaminación. La digestión anaeróbica ofrece así un proceso útil para reducir esta carga relativamente barata, así como el producir la energía. Un efluente del almidón de maíz fue estudiado de esta manera de determinar la reducción del DBO durante la digestión. La tabla 24 (ver apéndice) demuestra cómo esto fue alcanzado después de 6 meses de operación de las plantas de un digestor con un cargamento 1.76 del digestor del kilogramo DBO/m<sup>3</sup> por día en un rato de la retención de en medio 2.5 a 4.5 días. Un efluente el broncear vegetal fue tratado semejantemente usando un procedimiento de filtrado anaeróbico del contacto con resultados que animaban. La reducción más grande del porcentaje del DBO y del DCO fue efectuada entre el radio de acción del cargamento de 0.86 kilogramo a 1.34 Kg./m<sup>3</sup>/día, pero el retiro del porcentaje de broncear era uniforme lo que los cargamentos (véase la tabla 25 )

Otros materiales de desecho usados para la digestión anaeróbica se tabulan para la facilidad de la referencia (tabla 26 ver apéndice), e indican otra vez que las basuras orgánicas, no obstante se presentan, son más que usables probablemente como fuente del metano usando la digestión anaeróbica. Los ensayos del laboratorio esencial y de la planta experimental indicarán la utilidad relativa de cada basura y si los

compuestos contenidos son al proceso o no inhibitorios. Un punto de vista económico, la posibilidad de usar las pérdidas vegetales y las cosechas de energía de producir una fuente de energía conveniente dependerán de los gastos de la inversión y de explotación de capitales y de precios de la gasolina entre otras cosas. Tales estudios se han hecho y serán discutidos en la sección IV de este trabajo.

#### **II.2.4 Basura sólida**

Hasta hace poco tiempo estas basuras se han pensado principalmente como planteamiento de los problemas de seguro y disposición irreprochable, aunque cómo el valor de materiales recuperables, tales como metal y cristal, está dando por resultado otra mirada en el tratamiento inútil del sólido. Puesto que la porción orgánica de basura sólida doméstica abarca esencialmente los mismos componentes que el lodo del agua inútil, es decir, carbohidratos, grasos, y proteínas, es lógico considerar su interrupción por la digestión anaeróbica. Ha habido mucho trabajo de la escala de laboratorio realizado en esta área, aunque muy pocas plantas comerciales todavía están funcionando con este proceso.

Es agregar generalmente una proporción de lodo de las aguas residuales para mantener un cociente conveniente del carbón-nitrógeno. Los estudios del laboratorio utilizaron solamente un segmento seleccionado del vapor inútil sólido producido en un sistema particular de la recuperación del recurso desarrollado en la Universidad de California, Berkeley. En este proceso la basura, después de destrozar, se pasa con un clasificador de aire que lo separe en dos porciones. El componente más pesado es una mezcla del cristal, de metales, de la ceniza, del etc., y la fracción ligera consiste principalmente en el papel y los plásticos. Después de defender esta fracción ligera fue mezclada con lodo en varias cantidades antes de la digestión. Estos digestores de la escala de laboratorio fueron trabajados en diversas temperaturas y este caso que aparece que 35°C era un

grado óptimo. Sin embargo, en el otro laboratorio que se estudio en la universidad de Illinois, Urbana que fue encontrado que el efecto de la temperatura en la producción del gas era pronunciado y que la temperatura mesofílica óptima para la digestión de la basura destrozada usada era un 40°. Sin embargo, en la gama termofílica una temperatura de 60°C rindió una producción mucho mayor del gas.

<b>TABLA 27</b>	
<b>RANGO DE LA COMPOSICIÓN DE LA BASURA EN LONDRES</b>	
	<b>RANGO (%)</b>
<b>Polvo y ceniza</b>	<b>4.2-43.0</b>
<b>Verduras y perecederos</b>	<b>8.5-31.3</b>
<b>Papel y cartón</b>	<b>19.6-48.0</b>
<b>Metales</b>	<b>5.3-16.5</b>
<b>Tapos</b>	<b>0.8-5.9</b>
<b>Vidrio</b>	<b>5.9-15.7</b>
<b>Plásticos</b>	<b>0.7-2.9</b>
<b>Misceláneos</b>	<b>Nil-13.1</b>

La producción máxima del gas en la gama mesofílica era 0.29 m<sup>3</sup>/kg, de SV agregados, aunque en la gama termofílica era mucho mayor en 0.45 m<sup>3</sup>/Kg.. SV agregados. Solamente apenas la mitad del excedente de los SV en la basura destrozada usada fue destruida, saliendo de una porción significativa del material agregado al digestor para la disposición final. Estos estudios de los laboratorios conducidos en la Universidad de Illinois utilizaron una variedad de basura destrozada y son quizás el laboratorio más definitivo disponible donde se estudia hasta ahora los otros resultados que se ha hecho a la evaluación económica.

Las cantidades totales de basura orgánica presentes en la basura doméstica son cerca de 10 al 15% la cual esta bastante arriba para hacer una contribución teóricamente útil, quizás 30 a el 65% hacia las necesidades energéticas de la planta de la recuperación. Los problemas prácticos de extraer esta energía pueden presentar dificultades. La basura se debe filtrar y destrozar inicialmente para quitar tanto material inorgánico como sea posible.

TABLA 28		
DESECHOS DOMÉSTICOS PRODUCIDOS EN INGLATERRA, MOSTRANDO CAMBIOS EN SU COMPOSICIÓN		
	PORCENTAJES APROXIMADOS	
	1963	1973
Polvo y ceniza	39	12
Verduras y perecederos	14	17
Papel	23	43
Metales (ferrosos y no ferrosos)	8	9
Trapos	2	3
Vidrio	9	9
Plásticos	--	5
Misceláneos	5	2

La porción digestible restante es generalmente demasiada baja en el nitrógeno para la acción bacteriana eficiente, mezclando con un alimento tan conveniente; el lodo de las aguas residuales de la opinión u otra fuente del nitrógeno con una base aceptable es necesaria para obtener un cociente deseable del nitrógeno del carbón. Un proceso para clasificar la basura de casa se ha desarrollado en el de Warren Spring Laboratory, por el que los materiales de papel y vegetales que abarcan el 20% de la basura original se clasifiquen como "fracción del lanzador" y "flote la fracción" de un tanque de la salmuera. El trabajo reciente sobre la digestión anaeróbica de esta fracción indicó la posibilidad de generación del metano de la fracción putrescible obtenida usando el procedimiento de la separación de WSL. La producción más alta de era 0.307 m<sup>3</sup>/Kg., de sólido seco de o 0.47 m<sup>3</sup>/Kg. de SV. Cuando la entrada de los sólidos alcanzó el 12% a la vez hidráulica de la retención de 20 días, la falta de los digestores fue observada con una caída asociada en el pH del contenido del digestor. La adición de los alimentos no alteró el índice o la cantidad de producción del gas cuando estaba agregada como el fosfato del potasio y cloruro de amonio.

Como se pueden considerar de la tabla 27 las variaciones en el contenido de las fluctuaciones amplias de las demostraciones



domésticas de la basura, uniforme dentro de una ciudad. La composición puede también cambiar perceptiblemente durante el tiempo (tabla 28) y tales cambios en la materia prima presentan dificultades en salidas calculadoras de la energía y vueltas económicas. La basura de cada distrito se debe analizar y probar individualmente para la contribución del diseño; las variaciones a largo plazo en basura doméstica deben ser abastecidas supervisando la planta y ajustando la entrada de las aguas residuales o del producto químico para mantener un equilibrio nutriente deseable.

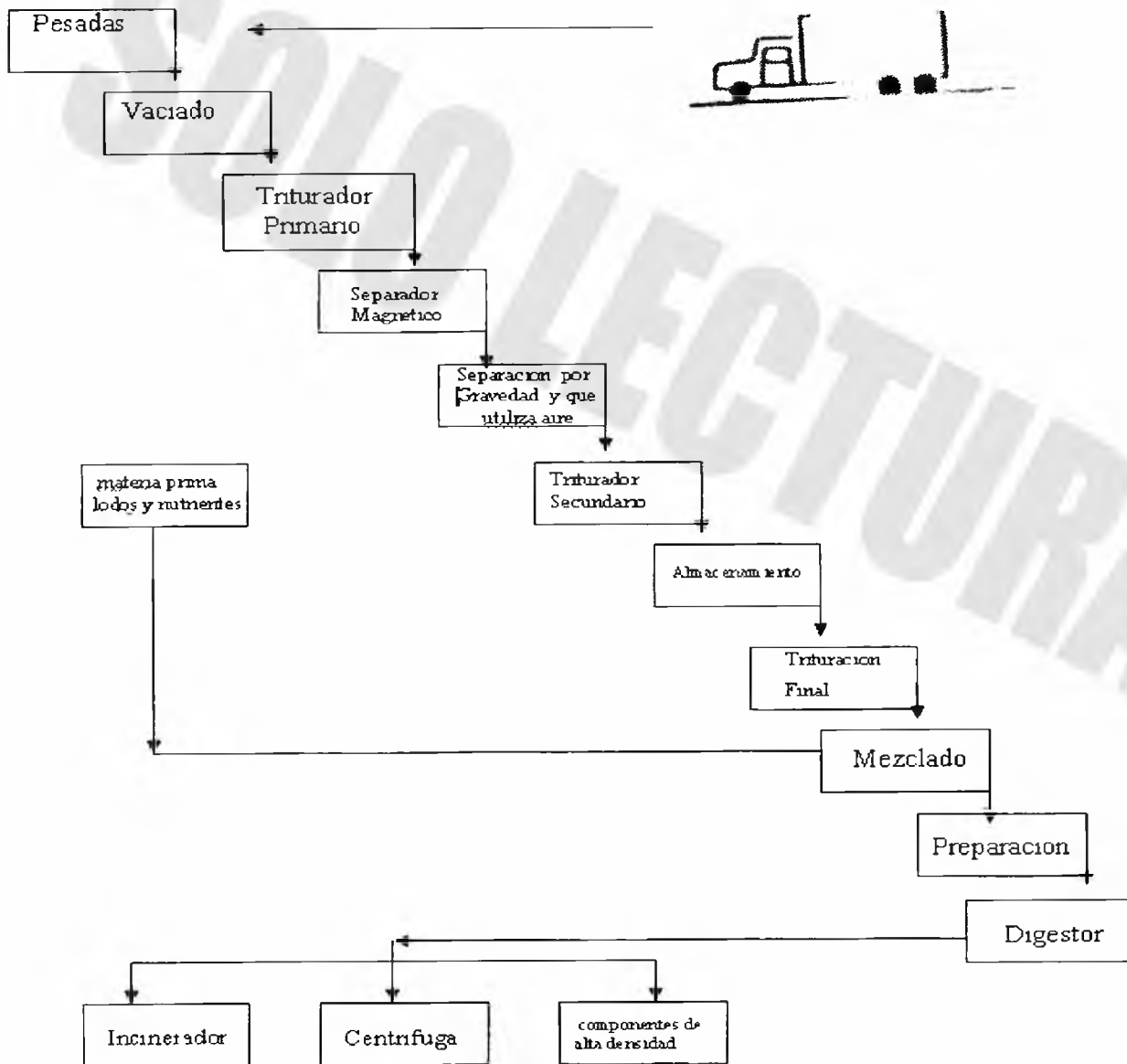


FIGURA 2. Diagrama de flujo que muestra el proceso del tratamiento de residuos sólidos municipales y que involucra ana digestión.

El cuadro 2 contornea esquemáticamente una planta posible de la disposición inútil. Las etapas que pesan y que inclinan actúan como los almacenes para animar incluso caudales. La desfibradora primaria reduce tamaño de partícula a un nominal 150  $\mu$ m para la separación magnética, la etapa de la separación de la gravedad del aire quita los metales, el cristal, el plástico, rocas, el etc. no ferrosos que la desfibradora secundaria reduce la basura restante a un nominal del tamaño de partículas de 10 milímetros donde se almacenan, permitiendo que las cantidades medidas sean retiradas continuamente para el destrozo final al tamaño de partícula de 1 milímetro. Este tamaño muy pequeño es altamente deseable para la interrupción bacteriana en el digestor anaeróbico, pero las dificultades prácticas en la realización de esto presentarían problemas con la mayoría del equipo propietario o pueden ser prohibitivo costosas. La basura entonces se alimenta en un tanque el mezclar y de la separación de la arena. El lodo de aguas residuales crudo y los alimentos agregados posibles se mezclan y se entregan en un tanque que sostiene antes de ser alimentada el digestor. El lodo digerido restante se puede tratar antes de ser por o la incineración, centrifugación.

Las producciones que embalan de alta densidad de gas producidas por varios digestores de la digestión anaeróbica de la basura sólida se muestran en la tabla 29. Las producciones varían entre 0.4 a 0.63 materia orgánica seca de  $\text{m}^3/\text{Kg}$ . alimentada al digestor. Allí muchos problemas son particulares con respecto a la producción del metano de la basura sólida doméstica, puesto que los pedazos grandes de material pueden estar presentes. Debido a la superficie baja al cociente del volumen, el índice de la producción de ácido de la celulosa puede ser lento dando un índice inicial bajo de la producción del gas. La alimentación continua puede compensar a un cierto grado el tiempo de retraso entre la celulósica y la metanogénesis. Los autores han puesto a funcionar con éxito una alto-tarifa, digestor hidráulico bajo del tiempo de la retención produciendo la buena producción del gas de desechos

sólidos cuando la alimentación en los ST de 2 a del 3% en los tiempos de la retención a partir del 6 a 20 días (tabla 30).

Aunque la adición del lodo de aguas residuales colocado en el primario aumenta la producción del gas en los términos del volumen o el digestor, no hay aumentos significativos en términos de los sólidos volátiles agregados, esos sólidos volátiles adicionales que eran contribuidos por el lodo de aguas residuales. Sin embargo, existe una estabilización creciente cuando las aguas residuales fueron agregadas a la basura sólida, proporcionando probablemente los alimentos adicionales en la forma de fósforo y de nitrógeno.

**TABLA 29**

**RENDIMIENTO DEL GAS DE LA BASURA SÓLIDA EN LA DIGESTION**

	VOLUMEN DEL GAS (%)		Rendimiento del gas (m <sup>3</sup> /kg SV adheridos)	Ref.
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>		
	45	55	0.4-0.44	81, 82
	40	60	0.4	91
	40-45	55-60	0.44	92
	40	60	0.5-0.6	83
Dos etapas-convencional.	40	60	0.59	93
	25-30	70-75	0.6	93

**TABLA 30**

**DESECHOS DE LOS SÓLIDOS DEL DIGESTOR CON O SIN AGUAS RESIDUALES.**

Basura domestica	Alimentación (%)	Rendimiento del gas (l/l/día)	m3/kg SV adheridos
<b>Retención de tiempo hidráulico</b>			
20	100	0.079	0.176
15	100	0.062	0.187
10	100	0.175	0.477
8	100	0.15	0.473
<b>Basura domestica/ aguas residuales y lodos primarios</b>			
20	90/10	0.156	0.113
15	90/10	0.13	0.329
10	90/10	0.254	0.209
8	90/10	0.491	0.432
6	90/10	0.5	0.11

Extraer el gas de metano como fuente de energía de los desechos domésticos requiere la inversión considerable de la planta y por lo tanto sería ilógico no incluir la recuperación infructuosa en el equilibrio económico total del proceso. Es impráctico indicar figuras reales de los costos del funcionamiento y de la recuperación pues los precios de la energía, de la recuperación del desecho, y de los costos capitales de la planta se están levantando continuamente en las tarifas imprevisibles. Es razonable concluir sin embargo que cualquier planta imprevisible de la planta inútil eficiente de la recuperación que utilizaba la generación del metano, la recuperación orgánica, y el reparo sanitario de la tierra por alta densidad embalando podría demostrar un beneficio total.

Otro método propuesto que merece la atención es esa alta digestión sin revolver de los sólidos totales que ocurre en terraplén. En un experimento del laboratorio el carbonato de calcio finalmente dividido fue dispersado en la fase acuosa para proporcionar un almacenador intermedio del pH y una figura de producción del gas de 0.128 m<sup>3</sup>/Kg. de la basura sólida fue obtenida. La mayoría de la investigación en la recuperación del metano del terraplén sanitario se ha conducido en California donde ahora hay un número de funcionamiento de los sitios. Por lo menos uno está vendiendo el gas del terraplén de la calidad de la tubería a un usuario - Southern California Gas Company. Inevitable, como los precios de combustible aumentan, más terraplenes recuperarán el metano en el futuro.

### **II.2.5 Desechos de carne empaquetada y del rastro.**

Las basuras de mataderos y de procesos del embalaje de la carne se han digerido con éxito, a veces en los tiempos muy bajos de la retención, por un número de años. Estas basuras tienden a ser altas en nitrógeno, por ejemplo, el cociente del nitrógeno del carbón de la sangre secada es como de 3.51:1. En los comienzos de los años 50, el trabajo experimental dio lugar a una planta experimental grande que era desempeñada para las basuras del embalaje de la carne que digerían.

Los DBOs del fluente de 1200 a 1400 mg/l fueron reducidos cerca entre 90 y el 95% de tiempo de la retención de 1 o 2 días. Al igual que el caso a menudo de, un período inicial de varios meses que es requerido para la adaptación de la población bacteriana al substrato nuevo y con la retención baja en los tiempos era necesario dar un cambio a la cultura microbiana al nuevo digestor que usa el lodo que se recicla. También la inoculación de los desechos entrante es encontrada para ser beneficiosa. El fluente final no era ofensivo en olor con los sólidos suspendidos reducidos cerca entre 73 y el 83%.

La prueba en desgasificaciones del vacío fue realizada con éxito y estos experimentos demostraron claramente la conveniencia de tales basuras a la digestión anaeróbica. El trabajo subsiguiente dio lugar al desarrollo adicional del proceso. Los sólidos suspendidos en el digestor fueron mantenidos cerca del nivel de 15 000 mg/l, que es cinco veces más arriba que con los digestores convencionales de las aguas residuales. El caudal crudo era alto, dando un rato de la retención de las heces que 12 horas para un retiro del DBO del 95%. El contacto entre la basura entrante cruda y el lodo biológico activo vueltos al digestor fue pensado para ser una parte esencial del proceso, y se conocía como el proceso del "contacto anaeróbico". La reducción suspendida de los sólidos de un valor del fluente entre de 12 000 y 17000 mg/l a un efluente a partir de 20 a 100 mg/l dio una reducción de sobre el 99% y era otra medida del éxito de este equipo.

La investigación en la posibilidad de usar la digestión anaeróbica para el tratamiento de las basuras del matadero fue comenzada más adelante en Gran Bretaña. La basura usada en las pruebas de la escala de laboratorio tenía un DBO de 2326 mg/l que fue reducido por cerca del 95% o más en una temperatura de 33°C. Esta temperatura fue encontrada para ser el retiro máximo de la producción del DBO y del máximo del gas ocurrió. El gas contenido sobre el 80% CH<sub>4</sub>, una cifra

elevada para la digestión anaeróbica. Durante estos experimentos fue encontrado que solamente en 33°C hizo que el lodo permaneciera en forma granular y libre de burbujas del gas. En otras las partículas de las temperaturas del lodo para arriba por el gas desarrollado, fueron transportadas en el cargo que era necesario para permitir que este efluente se coloque de modo que el lodo se pudiera volver al digestor. Los índices de cargamento de 3.06 kilogramos DBO/m<sup>3</sup>/día fueron cotizados, y daban una reducción de el cerca de 95%, demostrando una vez más las ventajas de este método de tratamiento aplicado a estas basuras.

La viabilidad económica del proceso anaeróbico fue demostrada en la progresión completa que fue construida en 1959, toda la basura al cabo de una planta grande del embalaje de la carne puesto que las desechos de la planta eran generalmente calientes, (26 a 31°C) el metano producido por el proceso era más que bastante para calentar los digestores a su temperatura de funcionamiento. El proceso quitó regularmente 1000 a 1450 mg/l del DBO cuando la tarifa de cargamento media era 2.5 kilogramos DBO/m<sup>3</sup>/día para dar un índice del retiro de sobre el 90%.

Una experiencia anterior, para tratar las basuras de aumento de un matadero en el Reino Unido basada en un digestor diseñado y construida en 1968. Desafortunadamente el digestor estaba constantemente con cargas bajas en cerca de 0.2 kilogramo DBO/m<sup>3</sup>/día, y aunque el retiro estaba sobre el 90%, no había bastante gas producido (0.65 DBO de m<sup>3</sup>/Kg. destruido) para calentar el digestor. La razón principal de las bajas cargas eran las cantidades grandes inesperadas de agua usadas en los mataderos, tan bien como el número más bajo de los animales que eran matados. La importancia de saber exactamente los parámetros de funcionamiento se consideraron anteriormente. Los ejemplos típicos de los resultados del tratamiento anaeróbico se dan en la tabla 31

## II.2.6 Medios puros y mezclados

Muchas de los desechos discutidos hasta ahora, el cual su uso tienen ventajas en la digestión anaeróbica, incluyen a grupos reconocibles grandes para quienes la digestión ha estado o se está estableciendo. Existen un número de substratos puros y mezclados para los cuales está disponible poca información en la digestión o el uso tiene todavía que ser puesto en ejecución, por ejemplo, es posible que un número de residuos de la fábrica del alimento sean hechos disponibles para el tratamiento y los cuales puede ser favorable para la digestión anaeróbica. Una basura tan sintética se demuestra la tabla 32.

En 35°C un digester de 45 l fue alimentado con mezclas sintéticas. El sobrecargo debido a la producción excesiva del ácido graso ocurrió y esto fue acompañado por una caída rápida en la producción del metano. Cuando en otro digester un procedimiento operacional similar fue adoptado en un tiempo hidráulico de la retención de 15 días y cuando el nivel de entrada fue aumentado a partir 1.6 del digester del kilogramo SV/m<sup>3</sup> a 3.2 kilogramos SV/m<sup>3</sup> la producción del gas bajó a partir de 0.1 l gas por el digester del litro por día a 0.05 l por el digester del litro por día, y la concentración de AVG se levantó a partir de 1000 mg/l a en medio 5000 a este digester de 8000 mg/l no tenía ningún control del álcali del pH pero un segundo digester con control del pH produjo el gas constantemente y en el aumento de la carga como antes de que éstas fueran una subida de la producción del gas a partir de 0.1 l gas por litro por día a 0.2 l el gas por día del litro con solamente un pequeño aumento en AVG a partir de 1000 a 2000 mg/l. en basuras mezcladas aunque se puede requerir así en condiciones ambientales de la digestión, particularmente si la mezcla relativa cambia en la composición de la producción a la producción.

TABLA 31

RENDIMIENTO DE LOS DESPERDICIOS EN LOS MATADEROS Y EN LAS EMPAQUETADORAS DE CARNE EN LOS DIGESTORES ANAERÓBICOS.

Material	Tiempo de retención hidráulica (días)	Reducción de DBO (%)	Reducción SS (%)	Carga orgánica (kg/ DBO/ m3 / día)	CH4 (%)	Producción de gas		
						M3 / kg SV agregado	m3 / kg DBO agregado	m3 / kg ST agregado
Matadero	0.69	93	--	0.5-2.2	--	--	--	--
	2.94	94	--	--	--	--	--	--
	1.25	100	--	--	--	--	--	--
	1.25	--	--	1076	--	--	--	--
Empaquetadora	0.5	95	--	0.44-2.87	--	--	--	--
	0.54	91	--	--	--	--	--	--
	0.34	--	80	--	--	--	--	--
Intestino de ganado	26	--	--	--	74	0.524	--	0.46
	4	--	--	--	42	0.087	--	0.087
Sangre de ganado	4	--	--	--	51	0.156	--	0.156
Matadero		90.75	--	0.202	72	--	0.594	--
Empaquetadora	0.53	95.7	--	3.157	--	--	0.447	--
Matadero	1.25	95.5	--	1.763	--	--	0.446	--
	--	75-90	--	0.28-1.33	--	--	0.596	--
Empaquetadora	0.5	90.8	80.2	2.5	--	--	--	--
Matadero	1.4	93.1	--	1.21	81	0.5	--	--
Matadero	1	96.3	--	1.6	--	--	--	--
	0.66	96.8	--	2.45	--	--	--	--
	0.52	95.7	--	2.07	--	--	--	--
	0.4	78.1	--	3.85	--	--	--	--

En otro digester finalmente de molido de el alimento de los cerdos fue utilizado como un substrato y cerca de 95% abarcado de la alimentación a un digester. El material orgánico restante abarcó suplementos del ácido caproico, de la maltosa, y del leucina del aminoácido en concentraciones que variaban junto con diversas fuentes del nitrógeno. De esta manera el cociente del carbón a la del nitrógeno se alteró y controló.

Los digestores de Tres litros fueron funcionados en 35°C en el tiempo de la retención de 15 días y la producción del gas era 600 ml/g SV agregado. Con la adición del ácido caproico, de la maltosa, y del leucina que el digester funcionó muy satisfactoriamente, a menos que ése el doblar del cargamento del carbón sin el aumento del contenido del



nitrógeno tuviera un efecto nocivo en la digestión. El cociente mínimo del nitrógeno-carbón fue encontrado para ser 0.0621:1, pero un aumento en esta figura no hay un aumento apreciable del funcionamiento. Para determinar los funcionamientos relativos potenciales de sustratos específicos, la tabla 33 indica el nitrógeno al cociente del carbón y así si ese sustrato es probablemente favorable a la digestión se considera el cociente crítico de 0.062:1 encontrado con el alimento del cerdo.

**TABLA 32**

**SUSTRATOS SINTETICOS DE ALIMENTOS**

Constituidos por	Composición (peso húmedo %)
Pan	13.7
Papas	18.3
Manzanas	19.45
Carne	3.41
Fruta cítrica	13.7
Zanahorias	5.15
Col	6.85
Apio	6.28
Café	1.71
Papel	11.45
Total	100

**TABLA 33**

**CONCENTRACIONES RELATIVAS DEL CARBONO Y EL NITRÓGENO EN LOS SUSTRATOS POTENCIALES DEL DIGESTOR.**

Sustrato	Valor del nutriente	
	Proporción N:C	
Semilla de algodón	0.198	Probabilidad buena para la digestión
Frijol de soya	0.145	
Basura	0.117	
Cocoa	0.094	
Lodos de aguas residuales	0.089	Potencialmente deficiente en nitrógeno por la buena digestión.
Heno de Alfalfa	0.057	
Desechos de caballo	0.04	
Tabaco	0.038	
Maní	0.028	

Sustrato	Temperatura (°C)	Tiempo de retención hidráulica (días)	Tipo de carga orgánica (kg/ m3/ día)	DCO (mg/l)	% de DCO removido.
Ácido acético	35	1.39	50	2950	98.5
		1.91	70	2950	98
		2.06	60	2950	98
		2.36	70	2950	98
		3.08	130	2950	95.5
		5.35	60	2950	98

	Tipos de producción de gas		CH4 (%)	Alimentación de ST
	ml/ l/ día	ml/ g SV agregados		
Desechos domésticos ml/ l/ ST) 100%	62.5	20.6	49	5.14
Desechos domésticos (90%) + aguas residuales (10%)	65	57.2	48	3.2
Desechos domésticos (50%) + aguas residuales (50%)	20.2	29.1	56	8.9

La digestibilidad real depende mucho del carbón y el nitrógeno disponibles; por ejemplo, el abono del caballo tiene un alto contenido de la lignina o ningún carbón digestible que haga el cociente del nitrógeno-carbón artificial alto puesto que está sorprendiendo pensar en ese sustrato como siendo deficientes en el nitrógeno para la digestión muchos de los procesos que implicaban la digestión han sido los estudios con particular referencia a la producción del metano de ácidos

grasos específicos. Un tal estudio fue cotizado recientemente para estimar el efecto del lodo anaeróbico reciclado en funcionamiento del digestor; el ácido acético fue utilizado como substrato y el tiempo hidráulico bajo de la retención fue alcanzado (tabla 34).

El trabajo temprano de estudio que precisó el mecanismo de la producción del metano por las bacterias utilizó el acetato como modelo. Así una cantidad considerable de información detallada sobre el metabolismo del acetato en digestores anaeróbicos está disponible ahora. El índice de la oxidación de otros ácidos se ha estudiado semejantemente, por ejemplo, el ácido fórmico donde se ha encontrado que los índices de la producción del gas son independientes de la concentración del substrato entre 50 y 1500 mg/l, debajo y sobre qué tarifas de la producción del gas fueron reducidas. También aparecía que la presencia de ácidos propiónico y butírico, no afectó la producción del metano de los ácidos fórmicos o acéticos.

La simulación del metanogénesis, usando el acetato como substrato, por la presencia de aminoácidos se contornea, y fue indicado que, el fenilalina, la lisina, el valina, y los ácidos glutina, todos metanogénesis máximos producidos en las concentraciones sobre 150 mg/l., las implicaciones prácticas de esto para el metanogénesis del control durante la digestión de un substrato del saber serían la ventaja potencial artificial de aumentar fuentes sabidas de aminoácidos con la alimentación. Así la simulación potencial de la basura doméstica por la adición de los lodos de aguas residuales, que fue pensada una posibilidad, se ha llevado hacia fuera en la práctica en el laboratorio de los autores al alimentar diversas mezclas de cada uno a los digestores de la escala de laboratorio (tabla 35). El índice del estímulo también sería contribuido por la presencia del nitrógeno y aplicar capa de fosfato posiblemente, aunque se piensa que la presencia de demasiado fosfato puede ser inhibitoria. Los solos aminoácidos han sido demostrados para estimular por el hasta 17% mientras que las

bacterias anaeróbicas del metano han sido demostradas para estimular por el hasta 52%.

### **I.3 Beneficios de la digestión Anaeróbica**

#### **II.3.1 Producción de gas**

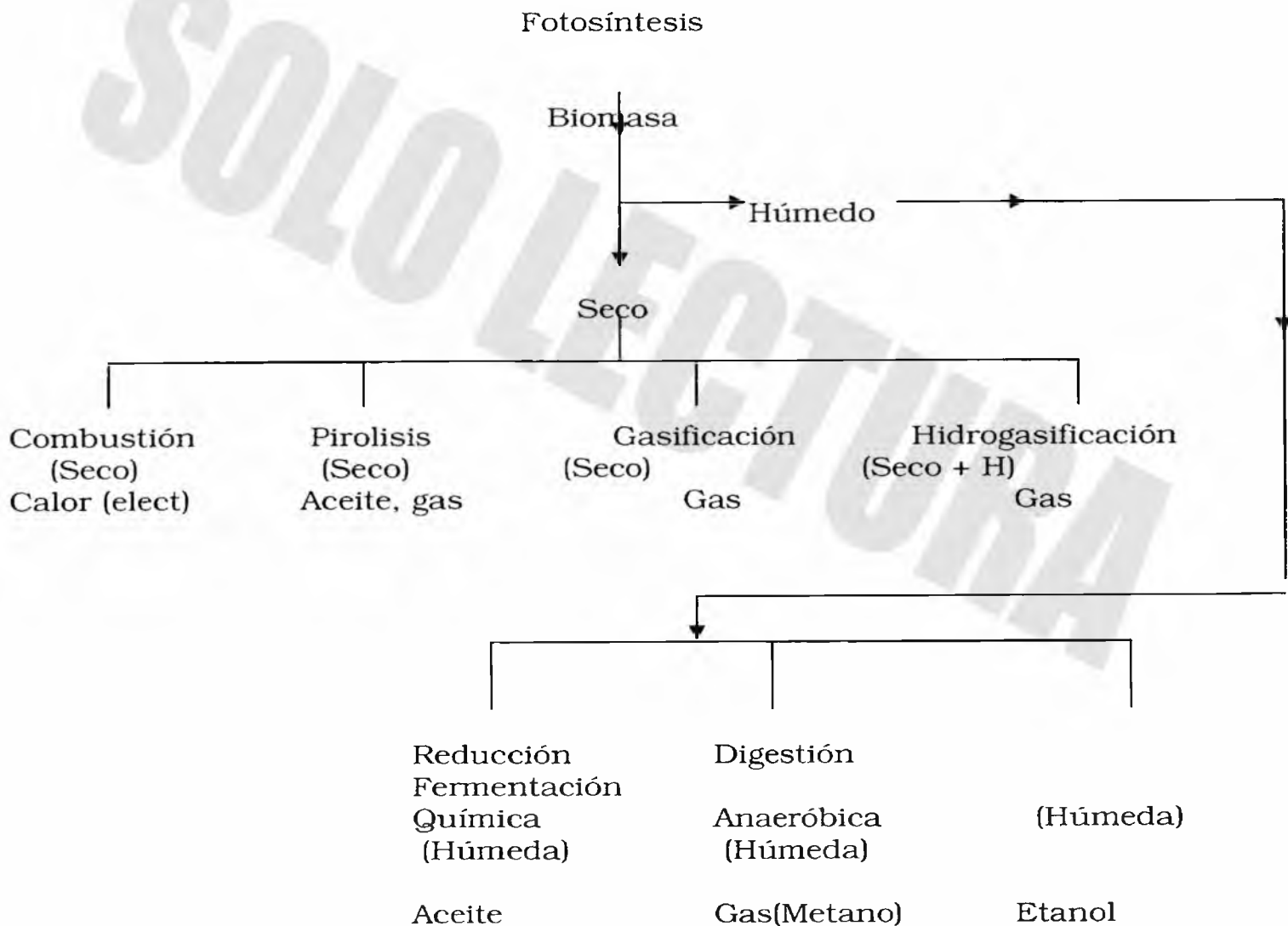
Casi el 90% del total de la energía mundial proviene de combustibles fósiles, los cuales son un recurso no renovable. La tabla 1 muestra la caída del suministro de energía, en donde, en la actualidad, el principal recurso proveedor es el petróleo. La energía renovable, es decir, aquella que proviene de la energía del agua, la leña, el combustible nuclear, es tan solo el 10 % de la energía mundial hasta 1976. La cantidad de energía que consume la población mundial se incrementa cada año. En Norte América por ejemplo el porcentaje de crecimiento del periodo de 1966 a 1976 fue de 3.0% mientras que para el año de 1975 a 1976 fue de 5.0%. Un incremento similar se encontró en el porcentaje anual mundial que fue de 4.0% del periodo de 1966 a 1976 y 5.0% de 1975 a 1976.

Al mismo tiempo que crece el consumo de energía, las reservas de energía disponible se reducen. La velocidad de desaparición así como la estimación de de la última cifra son temas de amplia discusión. Sin embargo, ahora se acepta que una gran proporción del petróleo del mundo ya ha sido extraído y procesado. En 1956 un geólogo protector del petróleo presentó una ponencia, en una conferencia patrocinada por el Instituto Americano del Petróleo y demostró que el pico de producción de petróleo de Estados Unidos se alcanzaría en cerca de 10 a 15 años. Pruebas recientes han demostrado que el pico de producción de petróleo se alcanzó en 1970 y que ahora casi el 80% del petróleo descubierto en los Estados Unidos ya se ha consumido.

Es por lo anterior que, se ha demostrado mucho interés en el uso de la energía solar, o la digestión anaeróbica como uno de los caminos viables en formas alternativas de energía. La figura 1 muestra algunas de las posibles rutas para la utilización de la biomasa en la producción de combustibles potenciales. Con la excepción de la madera, que es un

material que normalmente contiene una alta proporción de humedad por lo que los métodos húmedos de utilización de la energía almacenada se prefieren. No solamente son más eficientes, sino que resultan ser los más solicitados. La digestión anaeróbica parece ser el método que mas promete en la utilización de la biomasa con un alto contenido de humedad, esto es, mas de un 45 %.

**FIGURA 1. Rutas de utilización de Biomasa.**



El metano producido es la razón de mayor interés en la utilización de fuentes renovables por el gobierno y otras organizaciones en todo el mundo.

El proceso de la digestión anaeróbica puede ser benéfico desde dos puntos de vista, ya que ahorra energía pero también produce. Por ejemplo, si la reducción de la contaminación pudiera llevarse a cabo por un método que produjera suficiente energía para el sistema o bien almacenarla y después usarla para algún otro propósito.

Este es el caso de la digestión anaeróbica que se usa en la en la reducción de la contaminación o en su modo de reducción de volumen de lodos. Estos ahorros son sustanciales.

Actualmente, en muchos países el mayor interés que se tiene en el proceso de la digestión anaeróbica es en la producción directa del gas metano. En India, por ejemplo los granjeros, al mismo tiempo que enfrentan la escasez de fertilizantes, han encontrado que la leña puede sustituirse como combustible. El único recurso energético barato es el estiércol de la vaca que da buenos resultados cuando se seca. Se estima que cerca de 68 millones de toneladas de estiércol seco de vaca se queman en esa forma cada año, cuando en realidad todos los nutrientes se pierden y solamente cerca del 9% de la energía calorífica esta disponible para su uso. La extensa introducción de pequeñas plantas de biogas significa que el contenido de fertilizante en el estiércol de la vaca se conserva y que la energía disponible en el material orgánico es mas eficiente si se extrae.

La Khadi y la Village Industries Commission proporcionan asistencia técnica y financiera a los granjeros que desean instalar tal tecnología. La comisión ha estado trabajando en el "gas gobar" por cerca de 15 años; en 1973 había cerca de 6250 plantas instaladas en varios estados y para 1976 se habían logrado 25 000. Aún cuando en 1973 el volumen

de gas que se producía por las plantas era mas de 10 millones de metros cúbicos, tal vez era una cantidad insignificante para la demanda mundial, no lo era para los que realmente se beneficiaban de él.

En India, la investigación sobre la producción de gas se centraba principalmente en reducir los costos relativos de las plantas con el fin de que quienes se beneficiaran mas y no fuera posible adquirirlas, pudieran comprarlas.

Los fondos económicos en todo el mundo destinados para la investigación en el campo de la digestión anaeróbica u otra “energía alternativa” , son pocos. Sin embargo, recientemente, existe un movimiento para incrementar la investigación y desarrollo en ésta área, en los países industrializados esto ha sido posible debido a cambios en la forma de pensar de los gobiernos y la participación de la industria privada que analiza los beneficios de esta “tecnología de soporte”.

Por ejemplo, las grandes empresas de Estados Unidos han comenzado a explotar los grandes rellenos sanitarios para recuperar metano. En el relleno sanitario del condado Palos Verdes de Los Ángeles, las autoridades de tal distrito sanitario, reportan más de 566 000 m<sup>3</sup>/ día de una línea de pipas de metano casi puro que se entregan a la compañía de gas del sureste de California para los distribuya. Se ha estimado que la obtención de metano del orden de 2 830 000 m<sup>3</sup>/día se puede lograr a partir de los más grandes rellenos sanitarios, y para 1980, tal vez , el 1.2% de una caída en el volumen de gas natural de los Estados Unidos podría ser recuperado por medio de éste recurso alternativo.

Uno de los más grandes recursos de residuos orgánicos disponible en muchos países es el estiércol del ganado vacuno. Esto es resultado de muchos trabajos experimentales, en donde se estudia también el tipo de tecnología a usar, con el propósito de bajar el costo por kilojoule de energía que se produce.

Las cantidades de gas que se producen de varios residuos orgánicos se proporcionan con detalle en el capítulo 9, y sirven como referencia para interpretar la tabla no. 2 cuando se usa un residuo en específico.

30.2	Conversión y distribución de pérdidas	
69.8	(Domesticas	18.4
	(Transporte privado	8.2
	(Otros transporte	4.9
	(Agricultura e industrias de comida	2.1
	Uso	
	(Materiales de producción	19.8
	(Construcción y	4.3
	Manufactura	8.1
(Servicios de distribución	4.0	
	(Servicios públicos	

**FIGURA 2. Caída en el porcentaje del uso de la energía en diferentes sectores, de acuerdo al combustible usado.**

### II.3.2 Producción de fertilizantes

Si se observa la caída del combustible primario en un país industrializado, como por ejemplo el Reino Unido, la agricultura parece que consume relativamente una parte del total (ver figura 2); en donde la cantidad de que se consume por la agricultura y la industria se combina para dar un total de 2.1 %. Sin embargo, se ha observado un patrón de crecimiento considerable cada año. La figura 3, muestra el porcentaje de incremento en el consumo de

Componente	%incremento en el consumo en un año
Agricultura	+4.1
Hierro y aceros	-1.5
Otras industrias	+2.7
Vías de ferrocarril	-7.0
Carreteras	+6.6
Barcos	-2.7
Transporte aéreo	+9.7
Doméstico	+0.3
Servicios Públicos	+3.4
Misceláneo	+0.1

**FIGURA3. Velocidad de crecimiento en el consumo de energía en el Reino Unido.**



Combustible directo	38%
Fertilizantes, agroquímicos y cal	41%
Maquinaria, reparaciones y maquinaria de granero	16%
Transporte de la granja	5%

**FIGURA 4. Proporción de las entradas de energía en las granjas del Reino Unido.**

energía por año en varios sectores del Reino Unido. El incremento más alto es para el transporte aéreo, seguido del transporte terrestre.

No obstante, tercer incremento mas grande se encuentra en la agricultura con un 4.1 %. Es interesante hacer notar que la energía que se usa en las granjas del Reino Unido, la parte mas grande (41%) esta por debajo de los fertilizantes, la cal y otros productos químicos (ver figura 4).

Para las cantidades de combustible, un 38 %, maquinaria y sus reparaciones un poco mas de 16 % y el transporte a las granjas o desde ellas un remanente de 5%.

El uso de los fertilizantes en los países industrialmente desarrollados ha crecido dramáticamente y en 1975 la agricultura norteamericana usaba cerca de 20 millones de toneladas de fertilizantes químicos. En comparación con India, con 2 ½ veces una población que mantener y casi con la misma superficie destinada a la agricultura, usaba solamente 3 millones de toneladas. En consecuencia se obtenían menos alimentos.

Durante los últimos 50 años en los Reino Unido, la cantidad que se usan de fertilizantes y productos químicos para el control de la maleza, así como las plagas, se ha incrementado notablemente. Para los fertilizantes a base de amoniaco que se han producido por la absorción

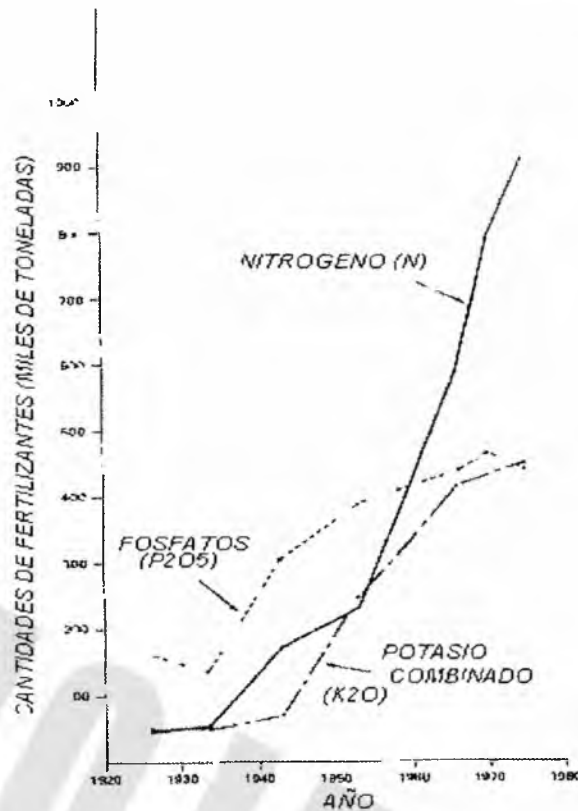
química del nitrógeno se ha incrementado por cerca de 20 años, aunque el campo cultivado por acre se ha mas o menos duplicado. La cantidad de energía por producción se ha incrementado de manera similar unas 16 veces; sin embargo, se sabe que ambos incrementos solo pueden ser posibles cuando el precio del combustible es relativamente barato. Una baja en las cantidades de fertilizante inorgánico que se usaba en el campo del Reino Unido en los últimos 50 años se muestra en la figura 5.

El interés acerca de las grandes cantidades de fertilizantes químicos es una de las mayores ventajas que se tiene para generar altas y nuevas variedades de granos. Sin estos fertilizantes las cantidades de cultivo por hectárea serían un poco mas que las variedades ordinarias. Con el incremento de la población se requiere una mayor superficie destinada al cultivo, y consecuentemente una mayor cantidad de fertilizantes, cuyo costo depende del petróleo. Los sustitutos y complementos de los fertilizantes químicos han sido ampliamente estudiados y usados desde entonces.

Un estudio llevado a cabo por la Universidad de Washington en 14 granjas ganaderas de los Estados Unidos reveló que de la producción total de 14 granjas que usaban fertilizantes orgánicos era solamente del 10 %, más bajo que en aquellas 14 que usaban fertilizantes químicos. Las granjas con productos orgánicos requerían de mas trabajo, cerca del 12 % más.

El retorno compraventa o financiero fue parecido en ambos casos, principalmente debido a los ahorros en los fertilizantes. En muchos países se concentra mas la atención en el uso de los fertilizantes orgánicos con algunos químicos en lugar de la utilización de aquellos que funcionan como sustitutos.

En Israel, Tel Aviv, una compañía dedicada al tratamiento de lodos residuales, ayuda a mantener la producción en los cultivos de fruta y vegetales en el desierto de Negev y sus técnicas se usan ampliamente en varias partes del mundo



**FIGURA5. Entradas de fertilizantes inorgánicos en la agricultura del Reino Unido.**

En Reino Unido la digestión en el tratamiento de aguas residuales se ha aplicado durante muchos años en la agricultura. La mayoría de los lodos de éste tipo contiene entre 2 y 6.5 de nitrógeno y no más de 8 % en base seca. Las cantidades que se suministran deben ser controladas para evitar su drenado hacia los mantos acuíferos y contaminarlos.

El fósforo, que normalmente se expresa como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en los fertilizantes es otro elemento importante que se encuentra en los lodos por arriba del 8%. Las cantidades mayores de las que se requieren también causan problemas por eutricación.

El porcentaje de potasio que se encuentra en los lodos es muy pequeña. La cantidad de éstos nutrientes presentes en 10 m<sup>3</sup> de lodos digeridos debería ser de aproximadamente de 18 kg de Nitrógeno, del cual, 2/3 partes forman amoníaco; 18 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1 kg de K<sub>2</sub>O.

La mayor desventaja que se presenta cuando se usan aguas residuales o materia orgánica indeseable de las granjas directamente sobre la tierra como fertilizantes causan mal olor debido a la descomposición de

algunos materiales orgánicos y agentes patógenos que pueden transmitirse sobre toda la tierra. La digestión anaeróbica reduce el contenido de sólidos orgánicos por cerca del 50%, dando como resultado un lodo estable. También existe evidencia (sección III) de que se remueven agentes patógenos en el proceso de la digestión anaeróbica. La respuesta de los cultivos a la aplicación de lodos digerido ha sido realmente favorable, como se muestra en la tabla 3.

Tal vez la mayor parte de los beneficios de la digestión anaeróbica con respecto a los fertilizantes podría no ser en las grandes sociedades industriales sino en los países desarrollados donde el contenido de metales pesados es menor. La tabla 4 muestra el principal contenido de metales pesados de 42 lodos en el Reino Unido y su comparación con los principales valores de concentraciones en las tierras normales destinadas a la agricultura y que no han sido afectadas por desechos o algún proceso industrial.

Como las aguas residuales se descomponen en la tierra, los metales pesados y otras trazas de elementos se filtran junto con los nutrientes de las plantas y se adsorben a los coloides presentes en la tierra. Lo más común es que dicha adsorción es lo suficientemente fuerte como para evitar la formación de lechos o bolsas de acumulación, pero los elementos pueden ser recogidos por las raíces de las plantas con efectos desastrosos. Par un mas detallado tratamiento de esta materia, ver referencia 14.

En el lejano oriente el residuo que proviene de la digestión se ha usado por un gran tiempo para enriquecer las tierras . En Taiwan el efluente de los digestores se usa exitosamente para el crecimiento de los cultivos y frutales y en China mas de 60 000 granjas usan el residuo de la digestión anaeróbica para la agricultura. En gobierno de India ha llevado a la practica fuertemente esta técnica, para ello existen subsidios para la construcción de digestores. En algunas ciudades, particularmente, Nueva Delhi, el efluente de los digestores municipales

se vende como fertilizante por lo que existen unidades pequeñas que se usan a gran escala y que ha sido diseñadas especialmente para esta área. Se planea que cerca de 100000 digestores serán operados en India principalmente para producir gas pero los residuos de la digestión podrán ser usados como fertilizantes.

**SOLO LECTURA**

### III

## CONTROL DE LA OPERACIÓN DE DIGESTIÓN

La digestión anaeróbica se ha usado para el tratamiento de aguas residuales y lodos activados por décadas, así como para el tratamiento de algunos lodos industriales. Muchos desechos industriales y de comida también tienden a ser tratadas como las aguas residuales, que producen lodos activados y posteriormente éstos son tratados en una digestión anaeróbica.

Muchos de los residuos que son tratados pueden contener organismos potencialmente patógenos para plantas, animales y desde luego para el hombre. El Departamento del Medio Ambiente en el Reino Unido ha publicado una serie de guías o normas oficiales para la disposición de los lodos de aguas residuales en las tierras y la EEC en Europa y la EPA en los Estados Unidos han desarrollado o están desarrollando una legislación similar.

### **III.1 Eliminación de los agentes patógenos.**

Los patógenos potenciales que se han identificado son los estreptococos y coliformes fecales , por ejemplo la Salmonella; los quistes de solitarias, amibas y de las raíces de las papas, anguílulas así como los nematodos atacan una amplia variedad de cultivos.

Muchos de los lodos producidos a partir de aguas residuales y su posterior propagación en tierras cultivables para fertilizarlos pueden generar organismos patógenos que pueden producir una infección en los animales de granja o cultivos. De manera similar, las aguas tratadas y los lodos pueden, incluso, llegar a los cauces de agua, ríos o lagos, contaminarlos e infectar a las personas. Es importante en los foros de economía que se discutan los beneficios de la digestión anaeróbica, de igual manera, debatir acerca de las principales ventajas de un sistema que pueda ayudar en la destrucción o inactivación de cualquier tipo de agente patógeno.

El grupo de bacterias de la *Salmonella* son responsables de infecciones gastrointestinales, algunas de las cuales son serias y que se pueden derivar del proceso que siguen los productos agrícolas, carne roja, huevo en cajas, otras carnes que provienen de los rastros y la industria del cuero.

Se han recomendado intervalos de tiempo específicos entre la aplicación de lodo a las tierras y su subsecuente pastoreo por los animales de granja o bien, su cosecha. En esos casos el intervalo de tiempo depende mucho de la forma en que el lodo haya sido tratado. Una forma de tratamiento, nombrado digestión anaeróbica, se ha estudiado ampliamente con respecto al grupo de la bacteria *Salmonella*, por lo que es un tema de interés enorme en la investigación.

Cuando en los tratamientos de lodos se cargan artificialmente de *Salmonella* Utrecht para determinar si existe remoción durante el tratamiento, se encontró que los organismos se redujeron en un 90%. Desafortunadamente, en éste tipo de trabajo se invierte demasiado tiempo debido al tipo de muestra, y que ésta sea confiable y poder monitorear la distribución de los organismos en toda la planta de tratamiento durante un periodo de por lo menos 4 estaciones para determinar el efecto de la temperatura en el tratamiento y durante todo un periodo largo de tiempo. El trabajo más reciente sugirió que la supervivencia de *S. typhosa* en los digestores anaeróbicos, es una función de la población inicial en el lodo que tiene nutrientes disponibles así como del tiempo de retención hidráulico del digester.

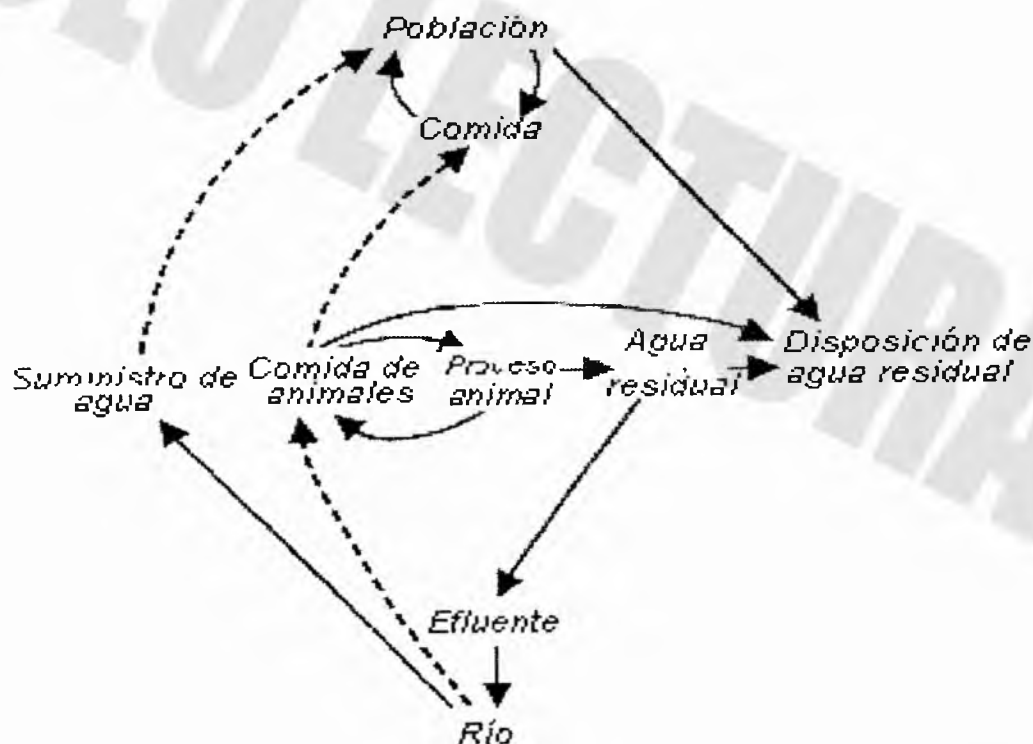
Un trabajo reciente en los laboratorios de investigación de los autores indicó, casi siempre, una buena remoción de especies de *Salmonella* y coliformes durante la digestión anaeróbica cuando se le comparó en intervalos de tiempo iguales con los sistemas aeróbicos de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados para la salmonera se muestran en la tabla no. 5

Mucho del trabajo que se ha centrado en la determinación de la cantidad de *Salmonella* ha tenido que ver con los desarrollos de mas efectivos e instrumentos de eliminación de los organismos.

Muchos tipos de sólidos que forman parte del medio, funcionan como inhibidores del crecimiento de algunas especies de *Salmonella* y otras bacterias que, incluso llegan a sobrepasar el tamaño de las colonias de *Salmonella*. Un método para reactivar el nivel de crecimiento de la *Salmonella* consiste en agregarle un sustrato de agua peptonada, lo que es útil también en la determinación de la cantidad de la misma. Éste método se ha desarrollado por el autor en colaboración de los laboratorios PHLS, Cardiff (ver capítulo 11).

La determinación de la cantidad de coliformes es mas simple, debido a que se obtiene por diferencia de la cantidad de *Escherichia coli*, que se evaluó en la materia fecal (ver capítulo 11). Se ha encontrado que la digestión anaeróbica es proceso de destrucción de coliformes fecales mucho mas favorable que el de la digestión aeróbica. (Tabla 6).



**FIGURA6. Potencial poder de infección de la *Salmonella* en la disposición de aguas residuales (Ciclo de la *Salmonella*).**

### III.1.1 Parásitos.

Como ya se mencionó, los lodos de las aguas residuales se utilizan en las tierras, en programas de recuperación de tierras. Los problemas de transmisión de los huevos de parásitos y quistes son altos cuando algunos



---

animales enfermos se han incorporado al tratamiento parcial de los lodos de aguas residuales. Nuevamente, la digestión anaeróbica elimina bacterias, virus y otros agentes patógenos que pueden filtrarse hacia las personas (ver figura 6).

La tabla 7 indica las cantidades de nematodos, amibas, quistes de trematodos o huevos que sobreviven a la digestión anaeróbica. Se ha notado una pequeña cantidad de dichas poblaciones muy resistente y se piensa que a temperaturas más altas se puede incrementar éste modelo.

Por ejemplo, se ha estimado que 60 ° C por 30 minutos se necesita para destruir los huevos de *Ascaris*, una temperatura que normalmente no se alcanza en la digestión anaeróbica de los lodos de aguas residuales. Debido a que un digester funciona en regimenes continuos o semicontinuos, es posible que una vez que los quistes o huevos entran al tanque principal, éstos puedan ser rápidamente eliminado, pero es probable que la mayoría de los sólidos sea retenido o reciclado por un tiempo de exposición mas largo que podría contaminar el sistema con agentes patógenos. Parece ser que todo el proceso de la digestión anaeróbica destruye quistes protozoarios como la *Entamoeba*, mientras que los quistes patógenos o los huevos son más resistentes. Para la supervivencia de tales organismos en sólidos, el conocimiento geológico de la superficie es muy importante con el fin de entender las velocidades de filtración del agua y el contenido particular de materia. Los agentes patógenos que sobreviven pueden depender de las condiciones de tierra. En los programas de los Estados Unidos para la disposición de lodos sobre las tierras se usan principalmente lodos tratados anaeróbica mente, y mientras probablemente los quistes protozoarios muchas bacteria patógenas estén libres, los huevos de helminto y nematodos no lo estarán. Mientras mayor cantidad de información este disponible, no solamente de la cantidad de organismos sino de la velocidad de supervivencia e in efectividad de los mismos, será más fácil el control del tratamiento de los lodos de las aguas residuales y si la digestión anaeróbica ofrece beneficios sustanciales con respecto a reducir enfermedades potenciales, entonces éste proceso debería ser incluido en cualquier sistema de control.

Un método simple para determinar la cantidad de quistes en la tierra viene dado por la fórmula:

$$D = \frac{N_c}{LA}$$

Donde  $N_c$  es el número de quistes por hectárea dado por  $C$  que es el porcentaje de probabilidad de quistes que están presentes en la tierra ( $25 \times 10^6$  para un 99% de probabilidad),  $L$  es el periodo de vida de los quistes en años (8 para la anguílula de la raíz de la papa) y  $A$  es la velocidad de aplicación de lodo en kilogramo de sólidos secos por hectárea. Éste método supone que los quistes y los huevos son fácil y confidencialmente identificables.

### III.1.2 Virus

Otro importante campo en donde los efectos de la digestión influyen en la supervivencia de organismos es en los virus potencialmente patógenos, tales como los que causan las infecciones gastrointestinales, la poliomielitis o la hepatitis. La reducción de un tipo de virus de polio se ha observado en 24 L a  $37^\circ \text{C}$ , una reducción del virus A9, y del ecovirus; todos ellos, tratados en digestor experimental de 5.6 L. A 28 grados centígrados se noto una reducción tipo 1 del virus de la polio en un tiempo de 24 h. Algunas muestras de virus causantes de infecciones gastrointestinales han sido colocados en condiciones extremas en tierra de superficie donde los lodos de agua residual han sido propagados varias semanas antes. Se supone que los virus presentes en los lodos que han sido mantenidos en los digestores de 3 a 8 semanas hayan sido destruidos y con velocidades observables de  $10^8 \text{ TCID}_{50}/\text{mL}$  serían inactivados en menos de una semana a  $35^\circ \text{C}$ . También se piensa que el proceso produce "inhibidores" si la velocidad de la fase endógena es mayor que la de alimentación de agua y desde luego del medio de cultivo y, si además, se mantienen a la misma temperatura.

Una cantidad considerable del trabajo de investigación esta orientado a la reducción de microorganismos patógenos y virus en los digestores y

también de determinar los principales factores que afectan la operación del equipo para hacerlo mas eficiente; así como el manejo de los lodos.

### **III.2 Control de la Contaminación.**

Debido a que la digestión anaeróbica no requiere oxígeno, el cual es caro, para el tratamiento de aguas residuales o la digestión de los lodos, el proceso ofrece diversas ventajas económicas. Sin embargo, es importante saber qué modelo se ajusta al proceso con respecto a la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) que se puede remover de los efluentes. La tabla 8 indica la reducción relativa de la DBO en un digester a escala laboratorio. Los datos de diseño para los proceso de contacto anaeróbico para experimentos a escala laboratorio y piloto se muestran en la tabla 9 aún para grandes cantidades de DBO y DQO removibles.

Por lo tanto, la digestión anaeróbica ofrece una muy importante alternativa para la reducción de la contaminación de sistemas biológicos aún cuando se piensa en muchos casos que las descargas que van a los ríos son aceptables.

El tratamiento terciario usa cajas de filtros y otros equipos que bien pueden ser torres de adsorción, membranas, osmosis inversa, reactor de desinfección, entre otros, con el fin de remover la mayor cantidad de contaminación con tiempo de retención generalmente más cortos que los del proceso de generación de gas. A partir de los datos que se muestran en la tabla 8 y 9 no existe una correlación directa entre el tiempo de residencia hidráulico y la DBO o DQO que pueden ser removibles. Esto depende mucho de la intensidad del efluente y la forma en que la mitad de la materia orgánica en el residuo que se este tratando se mueva dentro del sistema.

El capítulo 9 trata del tratamiento de materiales o residuos en específico. También contiene información acerca de la DBO/ DQO que pueden removidos durante el proceso de la digestión (ver, por ejemplo, capítulo 9, tabla 3).

Una de las más importantes áreas donde este proceso resulta ser muy útil es en el tratamiento de los desechos orgánicos de los animales de las granjas y donde el gas no se puede usar de inmediato. Cuando un sistema convencional de digestión anaeróbica se considera para el tratamiento de residuos de granja no se genera un efluente que pueda supervisar la Comisión Estándar o equivalente, por lo que, de cualquier manera se requiere un tratamiento terciario. La tabla 10 indica el potencial de los efluentes de las granjas y de los procesos que se llevan a cabo en las plantas de alimentos.

Por lo que, la digestión anaeróbica, además de ser usada en la producción de gas, puede ser utilizada en la reducción de la DBO/ DQO en los efluentes. Además, cuando ésta se combina con los tratamientos primarios y secundarios de aguas residuales, el proceso se hace más eficiente.

### **III.2.1 Disposición y utilización de los lodos.**

Debido a que una considerable proporción del carbono orgánico en los residuos que se usa en la alimentación de los digestores anaeróbicos se convierte en gas, los sólidos se van reduciendo, debido a que las enormes cantidades de agua residual, los lodos que se producen junto con los lodos industriales generan un nuevo problema, ésta vez, el de su disposición. Esto ha provocado que se dispongan de una manera equivocada de los lodos, en consecuencia, existen dudas acerca de la aplicación de éste método.

Una de las rutas de disposición inmediatas es en la tierra, ya que en realidad no importa el volumen del cual se va a disponer debido a que es bien visto el alto valor del fertilizante que en sí se está aprovechando.

La digestión anaeróbica ofrece muchas ventajas que ya se han discutido en la sección II. Los nutrientes esenciales presentes en los lodos digeridos son nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio y son usualmente bajos en potasa. La tabla 11 indica el volumen de lodos aplicado a las tierras para proporcionar la cantidad de minerales adecuada para las prácticas propias de una granja. Existe un número importante de características

---

para mejorar las cosechas, una de ellas es mantener la estabilidad de las tierras; la cual consiste en tener unidades de materia orgánica. Las tierras se vuelven susceptibles cuando tienen altos grados de arena en donde la materia orgánica ha caído un 3%. El lodo equivalente de una típica adición de nitrógeno en un fertilizante convencional sustituirá la mayor parte de los requerimientos de fosfato y con la materia orgánica equivalente a arar en 1 ½ año un campo.

El lodo digerido tiene las mismas funciones, éste contiene carbonatos que proveerán el 60% de la cal que se requiere en la tierra de las granjas.

Con respecto a los nutrientes esenciales y los metales pesados que están contenidos en los lodos, un reciente estudio indicó el comportamiento selectivo de las plantas con diversos elementos, tal es el caso de las raíces, hojas y tronco. La tabla 12 indica la relativa la proporción relativa de algunos elementos en los lodos de aguas residuales de muestras de diversas ciudades de los Estados Unidos.

Se observó que las plantas que crecían en tierras con éste tipo de lodos contenían altos niveles de cadmio, zinc, cobre, níquel potasio y plata. Los niveles de cadmio y zinc eran más elevados en los tejidos de la lechuga, maíz, rábano y las hojas del nabo, así como en los camote y las semillas del trigo. Las hojas tienen niveles de metales más altos que las raíces.

Como ya se ha mencionado, los nutrientes que necesitan las plantas se pueden obtener de los lodos que se agregan a las tierras, pero también se pueden introducir ciertos efectos tóxicos, por lo que se requiere de un estudio adecuado. Durante el curso del proceso de la digestión anaeróbica, pueden introducirse ciertos contenidos de metales pesados, pero algunas veces estos se localizan en la nata remanente del proceso y no se depositan en la fase sólida. Las concentraciones de cadmio y cobre se sabe que por arriba de 200 mg /L inhiben la digestión (Ver capítulo 8). Par ala aplicación en las tierras, el pH debe ser igual o mayor a 7.0 y si la tierra tiene grandes cantidades de humus o arcilla por lo que, 20 toneladas de lodos municipales por años por hectárea se pueden aplicar cerca de un periodo de 10 años sin peligro.

Plomo, mercurio y cadmio son los metales mas tóxicos, por lo que sus concentraciones relativas de cada uno determinara las velocidades de carga en las tierras. Frecuentemente, los niveles de mercurio son más bajos en las aguas residuales que en las tierras donde se deposita.

Muchos de los residuos sólidos que necesitan de un depósito contienen actualmente una gran proporción de celdas microbianas. El contenido de proteína es de 30 a 35 %, grasas (10 a 30%) y otros tipos de materiales como sales minerales, celulosa y compuestos nitrogenados.

Por algún tiempo se ha considerado que la proteína microbiana no debe ser arrojada al mar o a un depósito en tierra, pero si en los alimentos de las personas para su uso directo.

Las necesidades dietéticas de los animales de granja tales como el estiércol de un animal puede consistir en parte de la comida de otro. En consecuencia un proceso de reciclaje incrementa la productividad. Los residuos de los lodos del digestor puede ser usado como alimento para los animales de una granja.

Un sistema se ha operado en el Departamento de Zoología, de la Universidad de Cardiff, en donde los lodos de aguas residuales han servido de alimento para peces como la trucha por un periodo de mas de 2 años, con resultados sorprendentes.

Realmente no había una diferencia significativa entre los grupos que se alimentaron con un suplemento arriba del 20%, que consiste en proteínas ASCP de lodos activados.

Por lo tanto, el contenido de proteína crece con la adición de ASCP y disminuye el de grasa. No se observó ningún efecto negativo en las truchas. Una de las ventajas de usar truchas y otros animales que es parece ser que no hay concentraciones relativas de metales pesados en su carne, pero se requiere de profundizar en éste campo.

El uso de los lodos de aguas residual para la alimentación de las carpas ha existido por muchísimo tiempo. El foso alrededor de los estanques proporcionan una defensa física al generar una especie de lodo negro que además de alimentar a las carpas sirve como un buen fertilizante. La cosecha de pescado es arriba de 0.25 toneladas por hectárea.

Las concentraciones de aminoácidos de los lodos es favorable si se compara con otros recursos (tabla 13 y se considera que crece cuando el agua residual se convierte en lodos activados (tabla 14) .

Los experimentos de alimentación de los animales de granja están siendo desarrollados por el Departamento de Zoología de la Universidad de Illinois y los Laboratorios Urbana. Una parte de los residuos de los digestores que es proteína no se dispone sino que se recicla cuando el carbono orgánico puede ser mas eficientemente retenido en los sistemas biológicos.

### **III.3 Técnicas analíticas de caracterización y control**

La presencia de ácidos grasos volátiles (AGV) que son solubles en los digestores anaeróbicos es un indicador real del estado general metabólico que puede medirse en cualquier tiempo (Ver capítulo 4)

#### **III.3.1 Ácidos grasos volátiles.**

Cuando éstos ácidos son producidos por bacterias hidrolíticas, entonces otros microbios los utilizan en un proceso de fermentación y finalmente, otras bacterias especiales utilizan los ácidos de bajo peso molecular (especialmente el acético) para producir metano.

Por lo tanto, si existe inhibición en los pasos finales de la generación de metano, entonces se producirá un incremento en la concentración de AGV.

El método calorimétrico para la estimación de AGV esta especialmente diseñada para medir ácidos grasos, por lo que la presencia de cualquier otro tipo de ácido contribuirá en menor grado que el acético lo hace, debido a sus bajas respuestas en concentración.

Sin embargo, se usa al acético, como un estándar, por lo que todos los resultados en casos reales son equivalentes al del acético.

El método consiste en hacer reaccionar los ácidos con etanodiol en ácido sulfúrico concentrado, seguido de un enfriamiento mediante la adición de cloruro de hidroxilamonio en solución alcalina. Después de una agitación adecuada, se añade cloruro férrico ácido y después de dejar la mezcla por

5 o 10 min el complejo magenta se mide en un espectrofotómetro a 500 nm. La curva típica de calibración se muestra en la figura 1.

Sin embargo, además del acético, otros ácidos grasos, también reaccionan en un menor o mayor grado para producir un complejo de determinado color, por lo que la concentración individual de cada ácido no puede ser medida por medio de éste método.

En consecuencia, si se desea mayor exactitud, se requiere una prueba mas fácil que determine cuantitativamente la presencia de los diferentes ácidos.

Con frecuencia, se necesita monitorear las concentraciones particulares de, por ejemplo, ácidos grasos de cadena corta y también si las secuencias metabólicas están siendo determinadas o si un inhibidor de ácidos grasos en particular esta siendo sobre producido.

Un sistema de medición adecuado es la cromatografía gas líquido (CGL).

Si en la cromatografía se usa una fase líquida adecuada, entonces los ácidos grasos individuales pueden determinarse con exactitud.

Muchas fases líquidas son adecuadas en la aplicación de CGL para separar componentes y otros solo para la detección de ácidos grasos que incluyen Apiezon M y L cuando se usa tolueno como solvente, o si los ácidos son esterificados antes de se añada una fase líquida de ácidos atípicos poli esterres o silicona se puede usar cloroformo y tolueno como solventes, respectivamente. Los esterres metílicos de de ácidos grasos normales de 3 a 36 átomos de carbono pueden ser analizados por un sencillo proceso que regula de manera programa la temperatura de la cromatografía.

### **III.3.2 Alcalinidad.**

En los digestores se necesita conocer frecuentemente la capacidad que tiene la mezcla de formar soluciones buffer-ácidos, debido a que durante el proceso se forman ácidos. Las bacterias formadoras de metano requieren un pH cercano a 7 porque se ha observado una mayor actividad en dicho valor, cualquier desviación altera el proceso, de ahí la importancia de conocer la alcalinidad del sistema.



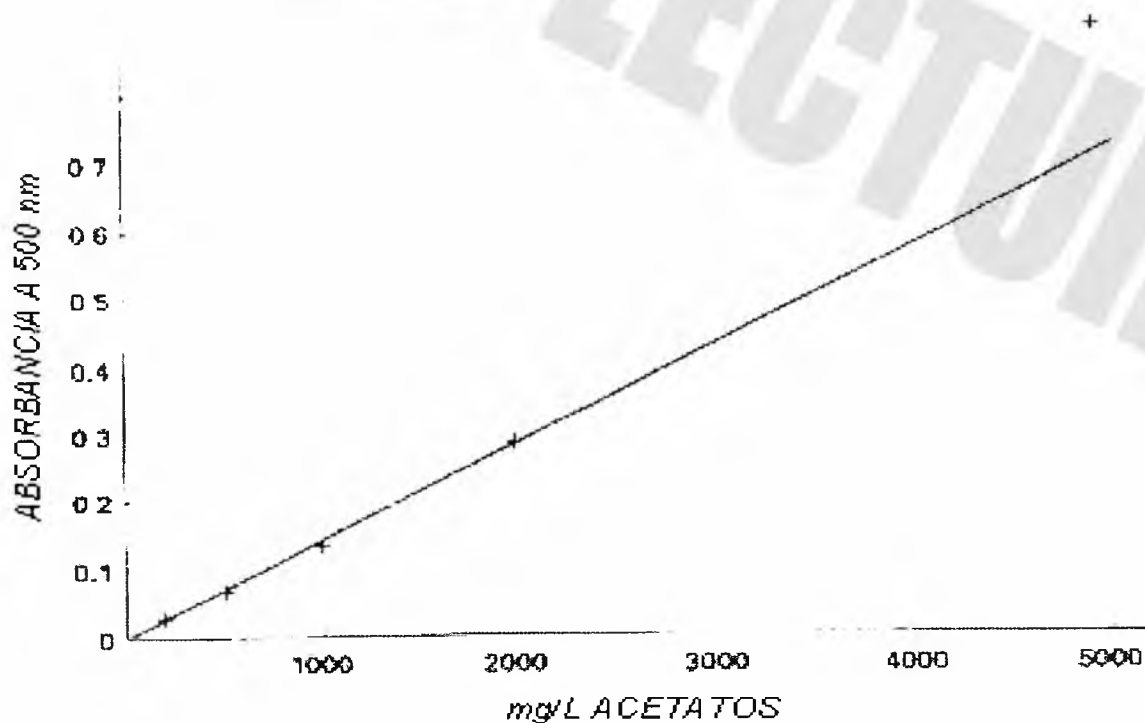
La alcalinidad se refiere a la presencia de bicarbonato, carbonato e hidróxidos, sales de calcio, magnesio, sodio, potasio.

La alcalinidad total se mide al titular un volumen conocido de una muestra hasta el punto final alrededor de un pH de 4.5 usando un indicador adecuado. La titulación hasta un pH de 8.3 muestra la alcalinidad por contribución de hidróxidos y la mitad del carbonato presente. Los cloruros pueden interferir con la titulación pero se pueden eliminar adicionando una gota de N/ 10 de tiosulfato de sodio.

Para 100 mL de muestra en miliequivalentes de carbonato de calcio es igual a un volumen de de ácido de M/ 10 (mL) x 50 (o un volumen de M/50 Ml x 10).

### III.3.3 Análisis del gas.

Con el fin de determinar la fracción de gases que se producen durante la digestión anaeróbica, las muestras de gases se analizan por métodos de cuantitativos adecuados. Para la detección de gas metano en una tubería



**FIGURA1. Curva de calibración para determinación de los ácidos grasos volátiles.**

existen diversos sistemas (Instrumentos de medición de gas, Nottingham, Reino Unido y Seguros Daeger, Chesham, Buckingham, Reino Unido) y se

usan frecuentemente para controlar la metanogénesis. Las proporciones relativas de metano y bióxido de carbono son indicadores del buen funcionamiento del digestor (Ver Capítulo 8). Para fines de investigación se requiere de un detallado y amplio conocimiento de los porcentajes de gas para monitorear los efectos de los diferentes parámetros de control. La presencia de nitrógeno y oxígeno es un importante indicador de la existencia o no de fugas en el sistema. La Cromatografía Gas -Líquido (CGL) se ha usado exitosamente en el análisis cualitativo y cuantitativo de los gases de un digestor.

Para la detección de hidrocarburos gaseosos con bajo peso molecular, se usa una columna de benzoato : dimetilformamida (23:77, v/v). Los resultados se muestran en la tabla 1.

En CGL, la elección correcta de los componentes de la columna es esencial para obtener resultados confiables.

La CGL utiliza anafase líquida que debe ser estable y no volátil a la temperatura de la columna, además de ser soluble en los componentes que se van a analizar. Dicho líquido se coloca sobre un soporte sólido en forma de una película delgada.

El sólido debe ser granular o la pared interior de una columna capilar. El gas "carrier" actúa como una fase que mueve los constituyentes de la muestra desde el porta muestra hasta el detector. Éste gas debe ser inerte y frecuentemente se usa hidrógeno, nitrógeno o helio.

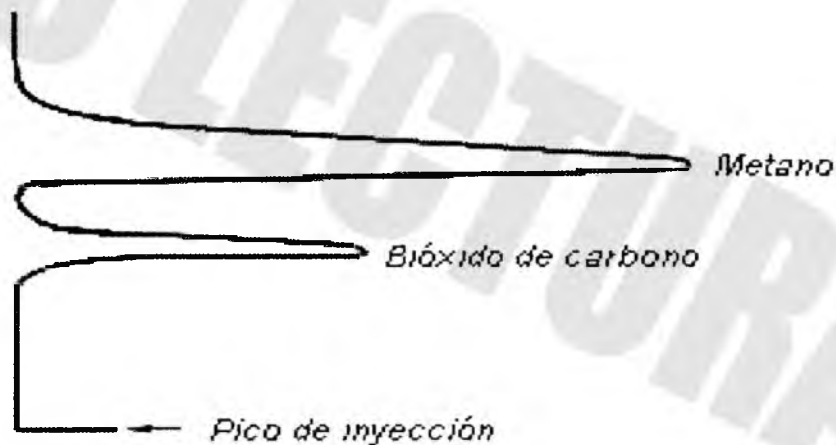
En la figura 2 se muestra una cromatografía de metano y bióxido de carbono.

Para la detección de gases se usó un catetómetro en lugar de ionización por flama.

TABLA NO 1		
Tiempos de retención relativas a 78 ° F para una columna de etilbenzoato:dimetilformamida .		
No. de pico	Compuesto	Fracción de retención.
1	Aire, hidrógeno	0.082
2	Metano	0.087
3	Etano	0.118
4	Bióxido de carbono	0.173
5	Propano	0.188
6	Iso -butano	0.298
7	n -Butano	0.41

### III.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Para determinar el funcionamiento de los digestores anaeróbicos y reducir la carga de contaminación de sus residuos o efluente, se requiere de un monitoreo apropiado de la cantidad de dicha contaminación. Un buen tratamiento se lleva a cabo si se conocen técnicas analíticas adecuadas.



**FIGURA 2.** Cromatografía de gas para Bióxido de Carbono y metano presentes en el gas producido por una digestión anaeróbica de aguas residuales. El aparato que se usó fue un Pye serie 104 con katarometro. Columna: tamaño molecular de 5 A (80 a 100 de malla). Gas carrier: helio (30 mL/min). Rango de temperatura: 100 a 200 °C (con incrementos de temperatura de 48°C /min). Muestra: 1 mL.

La prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se conoce como la prueba de la DBO<sub>5</sub> o de la dilución de los 5 días y es un proceso en donde se simula el proceso de oxidación natural de los compuestos orgánicos y algunas veces de los inorgánicos en el ciclo natural del agua.

Las muestras son diluidas adecuadamente con agua gaseosa y se divide en dos matraces de vidrio perfectamente tapados. El oxígeno disuelto se determina inmediatamente en el primer matraz y en el segundo, se realiza una incubación con un alimento apropiado de bacterias. Para una serie de muestras, se incorpora un testigo, que solo contiene agua de dilución y el alimento de bacterias.

La cantidad de oxígeno que se consume en éste matraz se resta de las cantidades en la muestra.

Los detalles precisos de la prueba se encuentran en referencias de métodos estandarizados.

Los compuestos que contribuyen en la DBO de un efluente se dividen en 3 principales grupos. Éstos son la materia orgánica de carbono, los compuestos de nitrógeno que son fácilmente oxidables y otros como pueden ser los compuestos reducidos de azufre, plomo y hierro.

La mayor parte de la materia orgánica se oxida en un plazo de 5 días pero la oxidación de sustratos inorgánicos seguramente requerirá de un mayor tiempo dependiendo de la cantidad de bacterias que disponibles y que además sean capaces de oxidar éstos compuestos en específico.

Cuando en un efluente se monitorea la digestión anaeróbica de residuos, la materia a base de carbono es la de mayor interés porque la remoción del carbono disuelto en la producción de gas es un importante parámetro de medición. Además es más que probable que cualquier compuesto inorgánico permanezcan sin reducirse a lo largo del proceso de digestión por lo que ellos se comportaran de manera similar a la DBO antes y después de la digestión. La contribución hecha por este grupo de compuestos no debe tomarse en cuenta en los cálculos de la DBO que se remueve durante el proceso. Sin embargo, muchos otros compuestos presentes en el material residual pueden inhibir la actividad metabólica del alimento microbiano. Estos pueden ser metales tóxicos, compuestos aromáticos como el fenol, o también otros compuestos orgánicos como formaldehído o cianuros. Las formas en las que el alimento puede ser afectado provocan que la prueba de la DBO no sea confiable y que el problema de seleccionar un alimento para todas las pruebas no sea

resuelto. Otra desventaja es el consumo de un largo periodo de tiempo (toma 5 días cualquier indicio de DBO removible de en el digestor), el número de personas que se requiere para manejar el gran número de muestras y el hecho de que diferentes laboratorios no se ponen de acuerdo en los resultados que obtienen de una misma muestra.

Por estas razones, existen otros métodos químicos para determinar la presencia de materia orgánica que sustituyen la prueba de la DBO, aunque proporciona una idea de la reacción biológica de los líquidos orgánicos y los residuos que se encuentran usualmente en una digestión anaeróbica.

Con el fin de encontrar la relación entre la DBO y la concentración de los ácidos orgánicos, se pueden graficar para un residuo en particular, pero no se pueden comparar entre los mismos residuos. La figura 3 muestra esa relación y puede usarse como una guía rápida cuando se tiene otro parámetro de por medio.

### **III.3.5 Valoración del permanganato.**

Una de las pruebas químicas más antiguas que se usan en el tratamiento de aguas es la de la valoración del permanganato.

Determina la cantidad de permanganato que consume una muestra en 4 horas en una solución de permanganato de potasio con ácido sulfúrico diluido, manteniendo el matraz cerrado a 27° C. Sin embargo, los compuestos orgánicos no son completamente oxidados, en un promedio que se encuentra, en teoría, entre 30 y 50%. Por lo anterior ya no se usa en las pruebas de Estados Unidos y en muchas aplicaciones del Reino Unido. La prueba ha sido sustituida evidentemente por la prueba de la DBO.

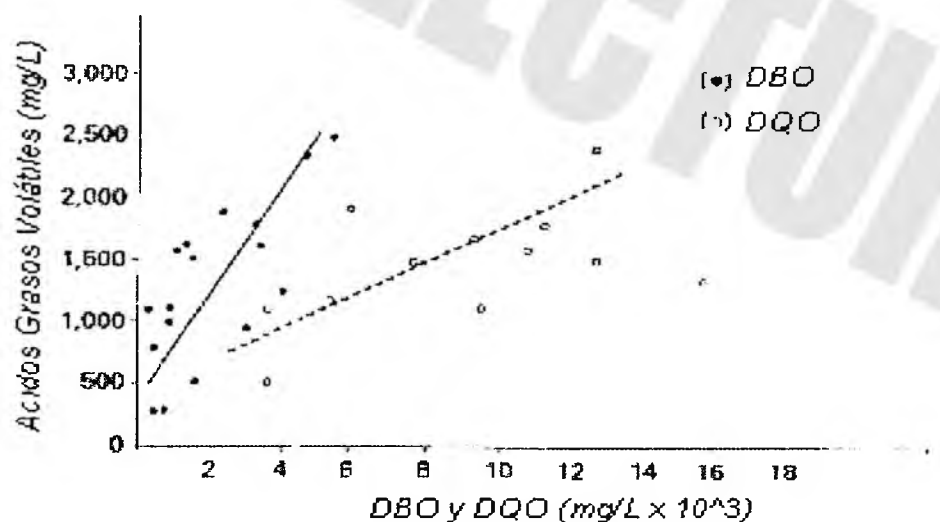
### **III.3.6 Demanda Química de Oxígeno (DBO).**

Esta prueba es más rigurosa que la del Permanganato y mide el oxígeno que se absorbe por una muestra al hervir una solución de dicromato. El exceso de dicromato se titula con sulfato ferroso o una solución ferrosa amoniacal, la cantidad de materia orgánica es proporcional al dicromato

consumido. La mayoría de los compuestos son casi completamente oxidados con la excepción de ciertos compuestos aromáticos tales como benceno, tolueno y piridina y otros que son poco probable que estén presentes en los residuos a excepción, por supuesto, cuando los lodos industriales se usan en la alimentación de los digestores.

El método no diferencia entre los orgánicos y los sólidos volátiles que pueden o no pueden ser biodegradables así que proporciona una cantidad sobre estimada del material disponible para el tratamiento biológico. De manera similar, el amonio contribuye con una cierta cantidad en la prueba, por lo que se concluye que no es biodegradable en el digestor. El método requiere de ácido sulfúrico concentrado en caliente, además del montaje de un equipo muy voluminoso, lo que toma cerca de 2 horas.

Actualmente, se dispone de un método en micro escala, en donde toma solo unos 20 minutos realizar la prueba. Sin embargo, tiene la desventaja de calibrarse con un determinado estándar para cada residuo para que el analista este seguro que la muestra ha sido químicamente oxidada.



**FIGURA3. Relación entre la concentración de los ácidos grasos volátiles (mg/L) y la Demanda Biológica de Oxígeno así como con la Demanda Química de Oxígeno (ambas en mg/L) en los contenidos de un digestor anaeróbico de aguas residuales como alimento primario.**

### III.4 Interrelaciones entre las Pruebas de la Demanda de Oxígeno.

Las correlaciones que se han hecho para enlazar las pruebas de DQO con las de DBO, especialmente con respecto a aguas y lodos de agua residual dicen que las razones de DBO a DQO se encuentran entre 0.2:1 a 0.5:1 y

se usan en un control rutinario de una planta y se puede inferir cualquier razón dependiendo del tipo de residuo que se use.

También hay una relación cercana entre la presencia de material orgánico en un efluente y su absorbancia a 254 nm. Un instrumento desarrollado en el Centro de Investigación de Aguas se ha usado para evaluar este método rápido de medición de carbono orgánico.

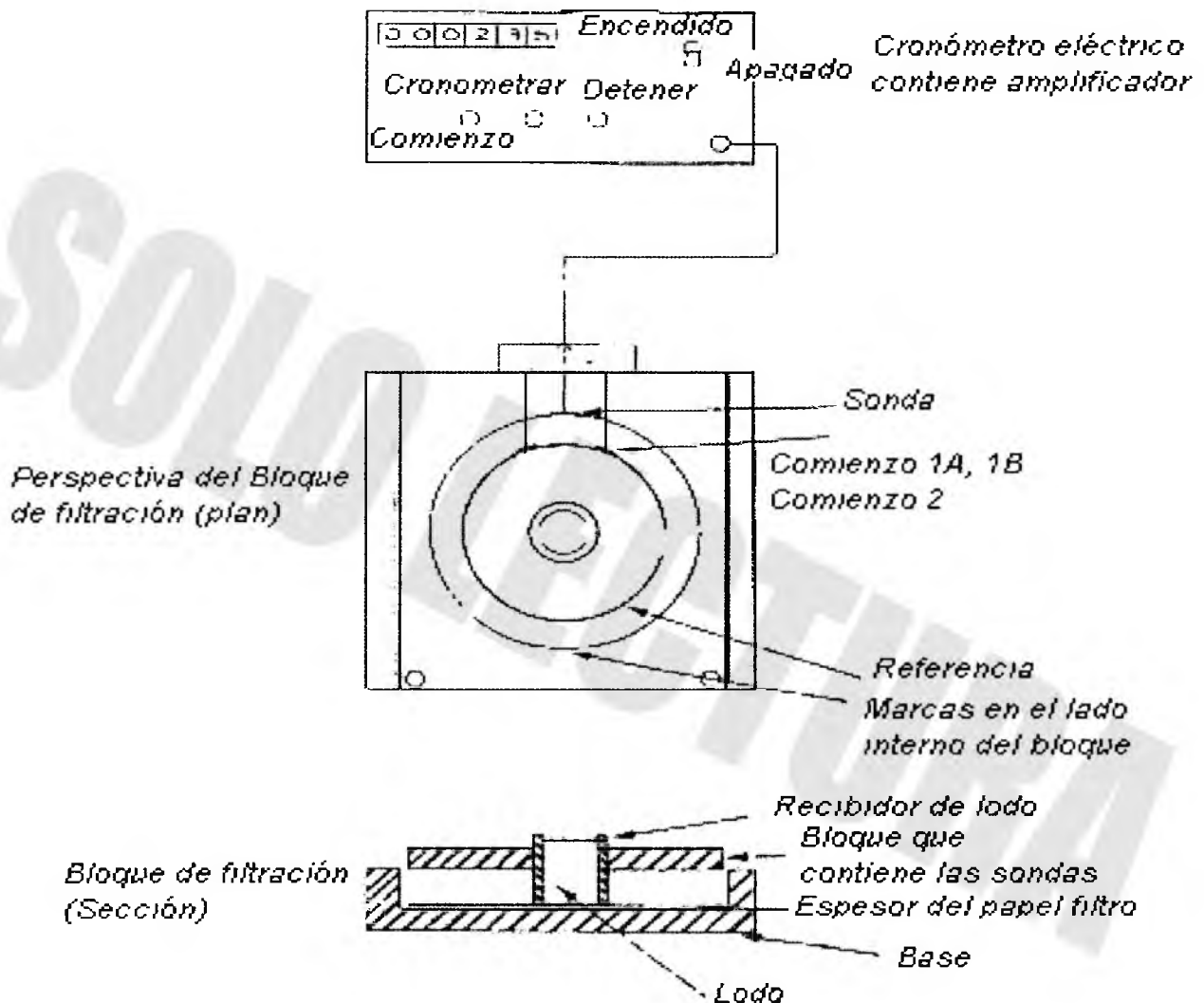
#### **III.4.1 Carbono orgánico total.**

Este método se conoce como el Método COT, que implica la oxidación de compuestos de carbono en una muestra de bióxido de carbono. De nuevo, se usa el método volumétrico más antiguo, el cual es la titulación con ácido después de la adsorción en hidróxido de bario. Actualmente se dispone de los métodos instrumentales que eliminan este paso. Una muestra pequeña (30 mL) se inyecta en un tubo o línea de combustión que contiene un catalizador a una temperatura aproximada de 900° C. Enseguida, el bióxido de carbono que se produjo, se mide ya sea utilizando un analizador infrarrojo o bien reduciéndolo con catalizador de níquel de 350 a 400 ° C a metano, el cual se cuantifica después con un detector de ionización de flama. La concentración de cualquiera, ya sea CO<sub>2</sub> o bien CH<sub>4</sub> es proporcional a la cantidad de carbono presente en la muestra. El carbono inorgánico se cuantifica por este método, que exclusivamente involucra material orgánico, por lo que es útil en la medición de la cantidad de carbono que se puede remover en la entrada del digestor. La prueba del COT se relaciona mejor con la DQO que el análisis por DBO.

#### **III.4.2 Tiempo de succión capilar.**

Se sabe que el proceso de la digestión produce gas metano a partir de sólidos disueltos y suspendidos, pero también es la base del crecimiento de microorganismos dentro del reactor. Por lo tanto, la composición particular de cualquier residuo que se alimente al reactor será cambiada debido a que parte de dicho material se transforma en bacterias. Uno de los parámetros importantes en el manejo de los lodos es la capacidad de filtrado que se requiere antes de disponer de ellos y alimentarlos al

digestor, así como los cambios bioquímicos y microbiológicos que se presenten durante el proceso. Usualmente, dicho parámetro se conoce como resistencia a la filtración y se cuantifica en un complejo aparato como una función de la viscosidad media



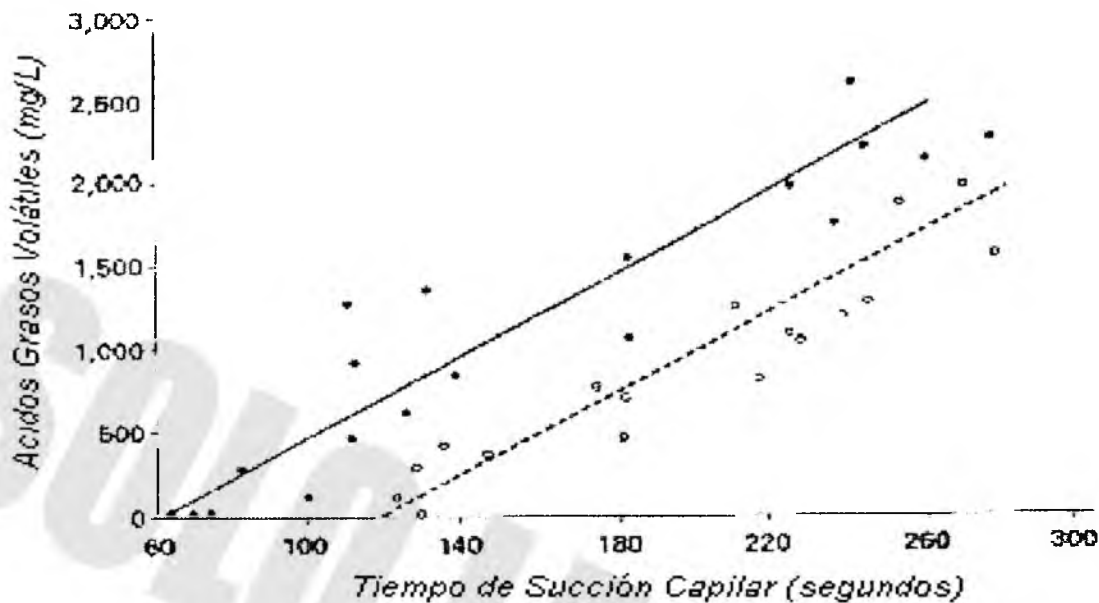
**FIGURA 4. Aparato de Tiempo de Succión Capilar.**

para cada una de las muestras. Este aparato ahora ha sido modificado para que mida el tiempo de succión capilar que es el recíproco de la resistencia a la filtración y es más fácil de cuantificar.

El aparato consiste en un filtro que tiene integrado un cronómetro; tiene una pieza rectangular de un papel absorbente de 70 mm x 90 mm entre dos piezas rectangulares de plexiglás; de hecho, el papel debería ser el Whatman no. 17 de grado de cromatografía con grano paralelo a una



medida de 90 mm. Las pinzas de acero inoxidable son probadas en el papel y desde el plexiglás se conectan al cronómetro automático y un sensor al movimiento del agua frente al papel.



**FIGURA 5. Relación entre la concentración de los ácidos grasos volátiles de dos digestores anaeróbicos en planta piloto. También se ha graficado el Tiempo de Succión Capilar de los lodos.**

A una distancia adecuada de la primer adecuada, se toma el tiempo de otras dos pruebas en las que el agua logra atravesar y se detiene el cronómetro. Éste intervalo de tiempo es el tiempo de succión capilar (TSC) y se mide en segundos. Una correlación de éste sistema se muestra en la figura 4.

Siempre se debe tomar en cuenta que el TSC es una función del contenido de sólidos y la temperatura a la cual se llevo a cabo la prueba, por lo que deberán anotarse dichas variables

Existe una ecuación que relaciona la viscosidad con el TSC (no se debe olvidar que la viscosidad es función de la temperatura):

$$TSC_1 = \frac{\eta_1}{\eta_2} * TSC_2$$

Donde  $\eta_1$  y  $\eta_2$  son valores de la viscosidad del agua a dos diferentes temperaturas. Se sabe que, para lodos con el mismo contenido de sólidos y viscosidad de residuo el TSC depende solamente de la resistencia

específica de filtración. Así que, se puede concluir que mientras más bajo sea el TSC, entonces será mayor la facilidad de filtrado. Por lo tanto, el proceso de la digestión también se mide en términos de la facilidad de filtrado del residuo que se utiliza.

Debido a la presencia de los ácidos grasos en el sistema de digestión se piensa que hay una relación entre el valor del TSC de los lodos de un digestor y la concentración de los ácidos grasos.

Para comprobar lo anterior, se tomaron muestras de los lodos de los efluentes de dos digestores prototipos y se tomó el TSC diario, al mismo tiempo que también se cuantificaba el nivel de Ácidos Grasos Volátiles. Debido a que los ácidos Grasos Volátiles varían diariamente, se pudo construir una gráfica que mostraba la relación entre ellos dentro del digestor. En la figura 5, se muestra dicha relación, que aunque muestra puntos dispersos, éstos siguen la misma tendencia, es decir, al aumentar el TSC, también lo hace la concentración de los Ácidos Grasos Volátiles. Se debe tener cuidado que las concentraciones de sólidos fueron similares (alrededor del 2% aunque se ha establecido que los cambios en las concentraciones de sólidos totales puede influir en el valor del TSC).

En el capítulo 8 se discute más ampliamente sobre la correlación que mantienen dichas variables.

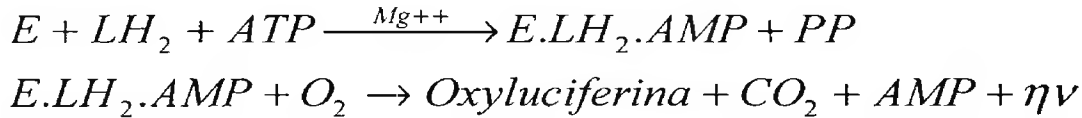
### **III.4.3 Trifosfato de adenosina**

En el control de los sistemas de lodos activados las concentraciones de trifosfato de adenosina (ATP), se han usado para determinar la actividad de los microbios que degradan la materia orgánica. El ATP que no se conserva en células muertas es directamente proporcional a la cantidad de material vivo presente y por lo tanto con dicha cantidad se evalúa la actividad potencial de una mezcla de cultivo microbiano que existe en un digestor anaeróbico.

El ATP se mide por medio de una enzima luciferasa que se extrae de las luciérnagas. En la presencia de la luciferasa y iones de magnesio, la enzima cataliza la degradación del ATP a Monofosfato de adenosina (AMP). Esta reacción se acompaña por emisión de luz, cuya intensidad es

proporcional a la cantidad de ATP, cuando otras reacciones se presentan en exceso.

El mecanismo de reacción es el siguiente:



Donde, E = Luciferasa de la luciérnaga.

LH<sub>2</sub> = luciferina(en su estado reducido).

ATP = Trifosfato de adenosina.

E.LH<sub>2</sub>.AMP = Complejo de luciferasa -luciferil adenolato (Intermediario activo).

Oxiluciferina + Luciferina (Estado oxidado)

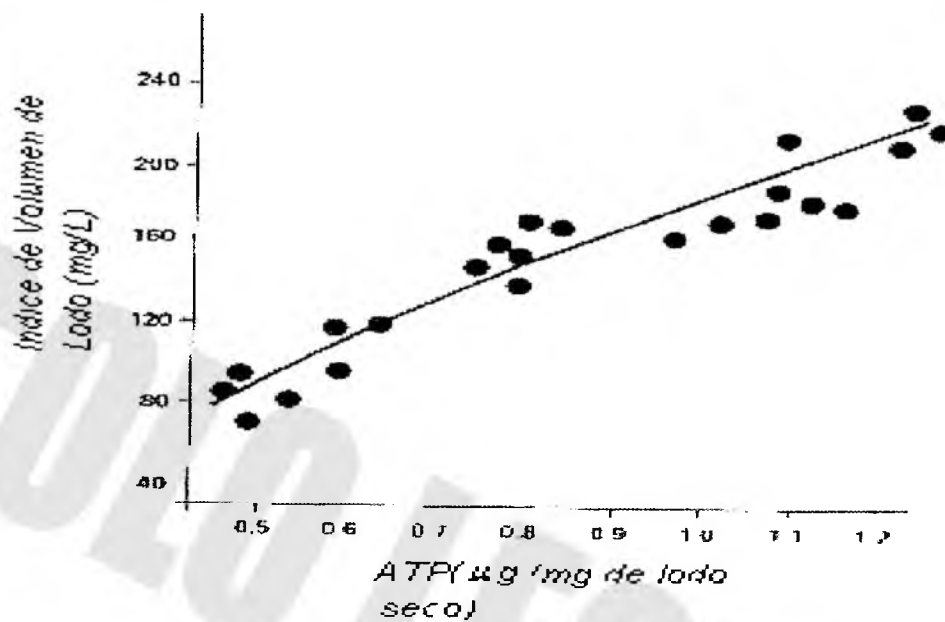
PP = Pirofosfato

Una vez que el ATP se puede medir adecuadamente, entonces, su concentración se puede comparar con otros parámetros cuya calidad garantizan el control de un sistema de tratamientos de aguas residuales. (Figura 6). Otro parámetro con el cual el ATP establece una importante correlación es la medida de la actividad de los lodos. Es posible determinar en sistemas anaeróbicos la relación entre la remoción de un sustrato y la carga de adenolatos que es pos si misma una medida del estado biológico de los microbios presentes. A mayor carga de adenolatos, mayor será la actividad de los microbios presentes La carga se define como sigue:

$$Carga\ de\ adenolatos = \frac{[(ATP) + 1/2(ADP)]}{[(ATP) + (ADP) + (AMP)]}$$

donde ATP, ADP y AMP son los tri, di y monofosfatos derivados del nucleótido de la adenina. La concentración más alta de ATP con respecto a otros nucleótidos es mala mayor cantidad de energía disponible en las células. El método de valoración de la actividad de los digestores

anaeróbicos ha sido utilizada para medir la cantidad de biomasa reciclada en un digestor. El método requiere refinamiento considerable para que pueda ser adaptado e iniciar el ciclo de pruebas y análisis en sistemas anaeróbicos.



**FIGURA 6.** Relación entre la concentración de Trifosfato de adenosina y el Índice de Volumen de lodo (una medida de la densidad de lodo).

#### III.4.4 Sólidos volátiles.

La presencia de sólidos volátiles y totales en un residuo que se va alimentar a un digestor influye bastante en el diseño del proceso que se va a llevar a cabo en el mismo. De hecho, en el capítulo 8 se mostró que el índice de sensibilidad era el parámetro más fundamental en el control de la producción de gas.

Con el fin de determinar los sólidos totales, una muestra de volumen conocido (50 a 250 mL) se evapora en un recipiente pesado a  $105^{\circ}\text{C}$  a un peso constante, el incremento del peso con respecto al del recipiente vacío representa a los sólidos totales. El resultado se expresa como miligramos por litro de muestra. La proporción de los sólidos totales que es volátil y que en gran parte es orgánico se determina por ignición del residuo en una mufla a  $500^{\circ}\text{C}$  en un lapso de por lo menos 30 min. El residuo se enfría en un desecador y pesado. Los resultados se reportan como un

porcentaje del residuo que se evaporó o en miligramos por litro de muestra. En la tabla no. 2 se muestran los resultados de sólidos totales para diferentes residuos que fueron alimentados en digestores probados y no probados por lo autores con el fin de mostrar que tan útil es ésta prueba en el diseño del reactor.

	Entrada (g/L)		Salida (g/L)		% Remoción
	ST	SV	ST	SV	
Agua Residual	24	17.8	5	3.5	79
Residuos domésticos	18	17.6	6	4.9	66
Residuos químicos	13	8.3	5	3	62

### III.4.5 Nitrógeno.

La presencia de Nitrógeno en un residuo sólido o líquido se determina en las siguientes modalidades: amoniaco, nitritos, nitratos, y nitrógeno total.

Los métodos establecidos para la medición de amoniaco para bajas concentraciones son el Método de Nessler y para altas concentraciones se utiliza la destilación y la titulación.

El amoniaco que es cuantificable se recupera por destilación en condiciones alcalinas. Éste se puede identificar por una colorimetría después de la adición del reactivo de Nessler o por titulación. La muestra (cerca de 50 mL después de la neutralización con una solución de hidróxido de sodio) es llevada a 350 mL con agua amoniacal, posteriormente se añaden 0.25 g de oxido de magnesio. La mezcla se destila a una velocidad de 10 mL /min. La destilación es continua ya que los últimos 50 mL contienen solamente diminutas trazas de amoniaco que se determinan por el método de Nessler. Usualmente, la destilación se detiene después de tener 250 mL de destilado. El cálculo del amoniaco es como sigue:

$$\text{Amoniaco en } N = \frac{10 * V_2 * V_4}{V_1 * V_3} \text{ mg/L}$$

donde

$V_1$  = Volumen de muestra destilada (mL).

$V_2$  = Volumen del destilado (mL).

$V_3$  = Volumen del destilado que se toma (mL).

$V_4$  = Volumen de cloruro de amonio estándar (mL).

Con el método de titulación el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Amoniacó } N = \frac{100 * V_2}{V_1} \text{ mg / L}$$

Donde

$V_1$  = volumen de muestra que se toma (mL).

$V_2$  = volumen de M/140 del ácido que se usa (mL).

En teoría, durante el proceso de la digestión los nitritos y nitratos, son reducidos rápidamente en condiciones anaeróbicas, por lo que no sería necesario cuantificarlos en los efluentes del digestor o en su contenido. Sin embargo, pueden estar presentes en una proporción considerable en el alimento del digestor. Los reactivos tradicionales para la determinación del nitrato, la aleación de Devardas y el ácido Fenoldisulfónico, han resultado ser inadecuados. Existe interferencia por cloruros, nitritos y amoniacó. El método de Brucine es muy utilizado en los Estados Unidos, pero recientemente, el método de reducción del nitrato ha ido ganando popularidad. El nitrato se reduce a nitrito catalíticamente una amalgama ácida de cadmio o cadmio cobrizado; después el tratamiento líquido se mezcla con 4 amino antipireno y se mide directamente por espectrofotometría a 343 nm. Si la solución original no se reduce, la diferencia debe ser la concentración de nitratos. Éste método tiene la desventaja de no funcionar en las muestras que se toman de los efluentes y que son filtrados y en cuyo caso no contendrían compuestos de nitrógeno.

### **III.4.6 Fósforo.**

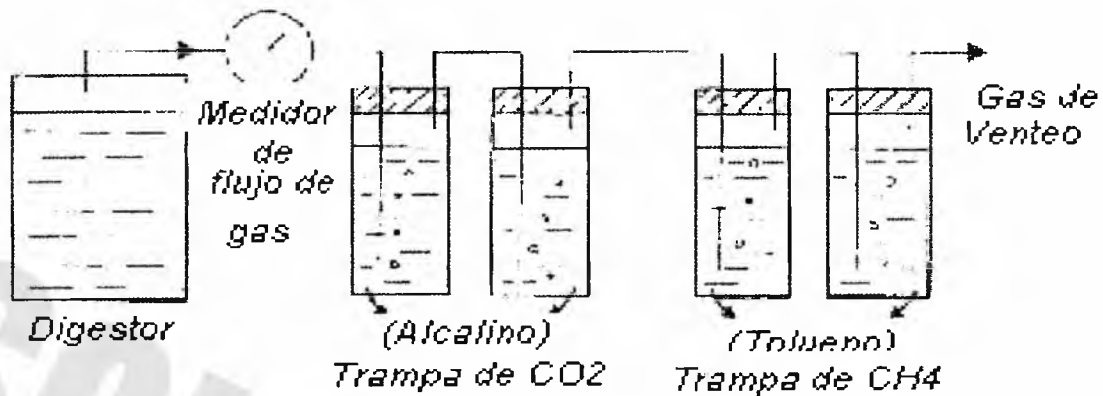
El fósforo se encuentra en los residuos orgánicos en diversos tipos de fosfatos como el ortofosfato, el fosfato inorgánico total, el fosfato orgánico y el fosfato total. El grupo de fosfato se convierte usualmente a ortofosfato y entonces determinado por una técnica colorimétrica. En éste método se requiere la reacción del fosfato con molibdato de amonio en una solución ácida para producir ácido molibdofosfórico. Posteriormente puede ser reducido por la adición de cloruro estanoso o de ácido ascórbico para formar un complejo azul -molibdeno azul. Si la concentración de fósforo es baja, el complejo azul se puede extraer con isobutanol para incrementar la sensibilidad.

La concentración relativa de nitrógeno a fósforo a carbón es importante en la determinación del potencial que tiene un residuo en particular para ser procesado en la digestión. Las concentraciones bajas de nitrógeno y fósforo causarían que las poblaciones de microbios no fueran capaces de metabolizar los sustratos orgánicos para producir metano. El fósforo también es un importante constituyente de energía para las bacterias. Éste tema se discute más ampliamente en el capítulo 4.

### **III.4.7 Otros Compuestos Inorgánicos.**

Las pruebas calorimétricas para iones inorgánicos tales como los sulfatos y los cloruros están siendo sustituidas por las pruebas de iones selectivos que ahorran tiempo al usar sensores y un sistema digital que permite medir la concentración de los iones. Los iones que detecta son los siguientes cobre, cadmio, plomo, plata, sodio, potasio, calcio, dureza del agua, fluoruros, cloruros, bromuros, yoduros, cianuros, nitratos y sulfatos. Antes de usar los electrodos, éstos se deben calibrar con soluciones estándar del ión a analizar y también se debe tener cuidado de no mezclar electrodos que han sido utilizados para el análisis de otros iones. Los metales pesados son detectados más fácilmente por espectrofotometría de absorción atómica (EAA), por ejemplo, en la determinación de cobre, plomo, cadmio, níquel, zinc, manganeso, hierro y magnesio o por medio de su flama elemental como en el caso del mercurio.

Las impurezas orgánicas se pueden eliminar al calentar las muestras con ácido concentrado, llevándolas a cenizas o bien disolviéndolas con ácido nítrico.



**FIGURA 7. Prueba de radiactividad de  $^{14}\text{C}$  en los gases de los digestores. Se tiene un medidor de flujo de gas y solo las fracciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  son medidas.**

### III.5 Evaluación por Radioactividad.

Con el objetivo de predecir lo que sucederá con ciertos nutrientes de las bacterias productoras de metano, los sustratos se pueden etiquetar radiactivamente ya sea con  $^{14}\text{C}$  (carbono radiactivo) o  $^3\text{H}$  (tritio).

La radiactividad se puede detectar de diversas formas y correlacionarla con compuestos que son conocidos con el fin de investigar los mecanismos bioquímicos por los cuales se produce metano a partir de los materiales de sustratos. La prueba con carbono 14 es la más usada ya que se sabe que la mitad del carbono de una molécula sufre fácilmente degradación catalítica.

En la identificación de ácidos grasos, se usa una prueba en la que el  $^{14}\text{C}$  está posicionado en un punto estratégico de la molécula, para determinar los compuestos intermedios específicos que la población microbiana produce, antes de generar metano. La técnica consiste en separar de manera selectiva las fracciones de los ácidos grasos por medio de solventes químicos y cromatografía, la cantidad de carbono radiactivo en la mancha se puede detectar directamente por un contador radioactivo o



de una manera más exacta mediante una extracción líquida y un contador acoplado a un tubo fotomultiplicador y amplificador.

Los gases de los digestores también se podrían recolectar; las proporciones relativas de moléculas orgánicas identificadas con carbono 14 se pueden recuperar ya sea como fracciones de metano o como bióxido carbono. Los compuestos alcalinos o etanolamina se pueden utilizar con tolueno para separar metano.

Las soluciones que se obtienen se pueden mezclar y utilizarlas en el proceso de conteo. En la figura 7 se muestra un arreglo típico.

Debido a la volatilidad de los ácidos grasos con baja cantidad de carbono , se puede decir que, sus sales son las que en realidad se separan en papel cromatográfico. Para este tipo de separaciones se usan comúnmente el butanol, fenol y otros solventes. La tabla 3 indica los valores del factor relativo de retención (Fr) para los ácidos grasos de bajo peso molecular.

Si los derivados de las 2,4 -dinitrofenilhidrazinas se forman de los ácidos grasos , entonces los ácidos grasos se pueden distinguir más fácilmente; para C2 a C22, ver figura 8 y tabla 4.

### **III.6 Técnicas de Muestreo.**

La operación de digestores anaeróbicos como un método de tratamiento de aguas o estabilización de residuos industriales, ya sea para la producción de metano o no, es de suma importancia que requiere de una producción estable de un efluente que se encuentre dentro de las normas ambientales. Por lo que es necesario saber la composición del residuo durante el proceso. Una carga inadecuada puede provocar serios problemas, por lo que se debe monitorear siempre. Desde el punto de vista ideal, se deben tomar muestras cada media hora o cada hora por más de 2 o 3 días para monitorear los cambios en la composición de la alimentación.

Con los equipos piloto, operados por los autores, se muestra un ejemplo de monitoreo:

Horas:	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Sólidos Totales En base seca (g/L)	27.9	28.8	24.1	28.6	30.2	26.6	25.2	28.0	24.4	26.7	24.3
	47.1										

Un conocimiento de los cambios en la composición no solamente permite tener cantidades mas reales de la alimentación al digestor, sino también la diversidad de las muestras individuales. Una muestra spot se obtiene de un efluente en un periodo de 1 a 2 minutos. El análisis de una muestra no puede ser representativo, por lo que las muestras deben ser tomadas correctamente.

La muestra se debe tomar, como una característica de operación, de la cual se debe tener un historial semanal mínimo. Afortunadamente, para el proceso, los intervalos de muestreo pueden ser de la manera descrita, ya que el muestreo es una función del flujo de alimentación y los digestores no se operan a bajos tiempos de retención hidráulicos como es el caso de los tanques de aeración en el tratamiento de aguas residuales.

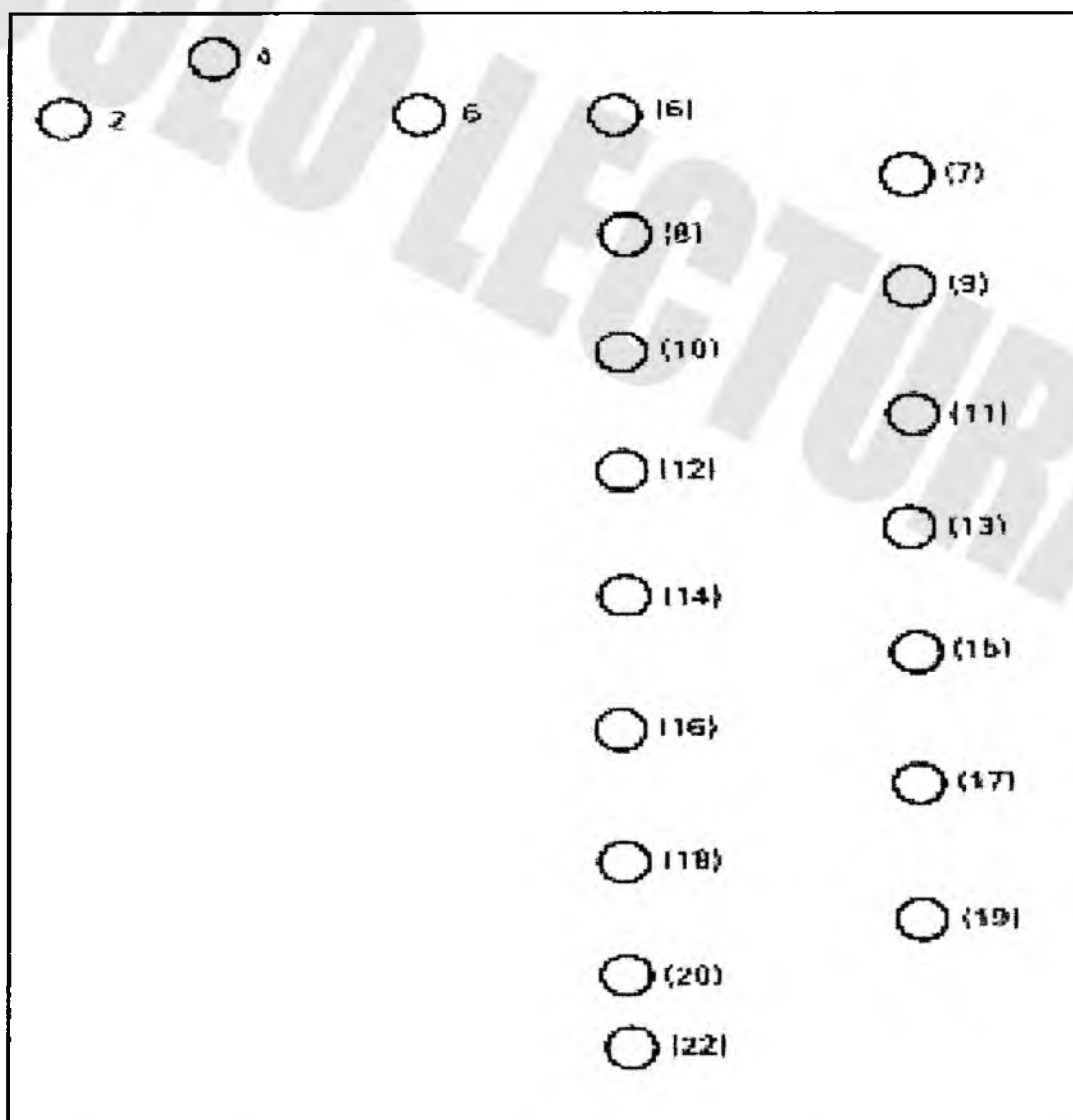
### III.6.1 Precisión y Exactitud del Muestreo.

Al comparar las muestras de alimentación a los digestores, residuo y los efluentes para el análisis de la composición, se asume que los métodos que se emplean son reales, exactos y reproducibles. Sin embargo, se sabe que un método es exacto cuando se ubica en un  $\pm 5\%$ . El Servicio Analítico de Referencia del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos es especialista en este tipo de materias con laboratorios analistas. Los resultados se reportan en base a Métodos Estándar. En la tabla 5 se muestra una lista de algunos de los métodos para la estimación de iones específicos en los compuestos, con valores de precisión y exactitud; los cuales se han diseñado en diferentes laboratorios. Mientras la diferencia sea de  $\pm 10\%$ , los resultados se pueden considerar aceptables; una

diferencia de 15 a 20% en la precisión puede dificultar la interpretación, en particular cuando se desea conocer el rendimiento del digestor.

Cuando se hace un estudio en un sistema con un digestor simple, los datos que se obtienen siguen una tendencia; en cambio es muy difícil al comparar un digestor con otro y tratar de encontrar correlaciones con la información.

Por lo tanto, la selección de las pruebas analítica depende mucho de la exactitud y de la precisión, así como del equipo de operación. De ahí, se destaca el porque las estimaciones de ácidos grasos volátiles y el tiempo capilar de succión son influenciados por diversos factores que varían de residuo a residuo.



**FIGURA 8. Papel de Cromatografía de 2, 4 dinitrofenilhidrazinas de ácidos grasos saturados, con ácido metanolético.**

### III.6.2 Conteo de las Bacterias Patógenas.

Un trabajo reciente de la Salmonera, en los digestores anaeróbicos, se centra en una metodología para su conteo. Diversas fallas se han asociado con el aislamiento y con la presencia de la Salmonera en los lodos de los digestores. La mayoría de las veces, la sobrepoblación de un patógeno esta asociado a otra bacteria. En los años recientes se han hecho innovaciones en el aislamiento de la Salmonera sp. Las variables que se han sido ampliamente investigadas en Europa son la elevada temperatura y el uso tetracionato de Muller –Kauffmann.

Cuando se trata con lodos de agua residual (aeróbica o anaeróticamente), se presenta el problema de elegir la calidad del sólido para no atascar la entrada.

De todos los sólidos que se usan, el agar verde brillante de McConky se recomienda, debido a su capacidad de inhibir el crecimiento de muchas bacterias, en particular, la Proteus, común por su sobrepoblación.

Una larga investigación del Dr. Harvey de los Laboratorios de Investigación de Salud Pública , de la comunidad de Cardiff, Wales, Reino Unido; en colaboración con el departamento de Microbiología de la Univesity Colleg de Cardiff. El Método de la Salmonera usa una técnica de probabilidad que se comenta en capítulo 10.

La preparación de soluciones que utiliza el método es la siguiente:

Preparación de agar que se usa en el aislamiento y conteo de la salmonera

Agua con peptona

Peptona 10 g/L

Cloruro de sodio 5 g/L

La peptona suspendida en agua, provoca que todo se disuelva. Se decanta en tubos (9.9 mL por  $10^{-2}$  de dilución, 9.0 mL por  $10^{-1}$  de dilución), tubos encapuchados y autoclave.

Caldo de Tetracionato de Muller –Kauffmann

(g/L)

Triptona 7.0

Peptona de soya	2.3
Cloruro de sodio	2.3
Carbonato de calcio	25.0
Tiosulfato de sodio	40.7
Bilis	4.75
	(mL/L)
Solución de Iodina	19
Solución verde brillante	9.5

Suspendidas en una solución de 1 L de agua destilada que se lleva a hervir. Se enfría debajo de 45°C y se añade 19 mL de solución de iodina además de 9.5 mL de la solución verde, se mezcla bien y se decantan 10 mL a un tubo de prueba.

#### Solución de Iodina

	g/100 mL
Iodina	20
Ioduro de Potasio	25

Se disuelve ioduro de potasio en 100 mL de agua destilada que este ligeramente tibia, se añade iodina y se agita hasta disolver

#### Solución verde brillante

Verde brillante	0.15 g/100 mL
-----------------	---------------

Se añade verde brillante a 100 mL de agua destilada y se agita hasta disolver. Se calienta por 30 minutos y se continua agitando ocasionalmente para mantener la solución, la cual, se debe mantener alejada de la luz solar.

Agar McConkey Verde	52 g/L
Verde brillante	0.04 g/L

Se suspende el agar en 1 L de agua destilada, se añade verde brillante y se deja reposar unos 15 minutos. Se vierte en autoclaves o platos.

El Método del Número Más Probable (NMP) se usa para aislar y para contar la salmonera. De cada muestra se obtienen 10 alícuotas de 1.0 mL

y 10 de 0.1mL y se incuban a 37°C por 24 horas en tubos que contengan 9 mL y 9.9 mL de la solución acuosa de peptona, respectivamente. Después de la incubación en seco, el contenido de cada tubo se mezcla y 1.0 mL se transfiere a la solución de tetracionato de Muller -Kauffman en tubos encapuchados que se incuban por mas de 48 horas. El contenido de estos tubos se mezcla de nuevo muy bien, posteriormente, la mezcla se coloca en platos o recipientes, en donde se coloca el agar verde brillante deMcConkey y se inicia una nueva incubación de 24 horas a 37°C. Después del proceso, los recipientes son inspeccionados, el número de puntos es el número aproximado de colonias patógenas que bien pudieran ser más que salmonera. El NMP, se expresa por cada 100 mL de muestra original. Durante la digestión anaeróbica también es importante la remoción de otros agentes patógenos. Entre ellos están, el aislamiento y conteo de los coliformes y la Escheridía coli. Se preparan series de soluciones de lodos diluidas. La dilución depende de la consistencia del lodo. Para cada muestra se deben tomar alícuotas de 0.1 mL que a su vez se preparan con los reactivos de agar, que al ser incubadas permitan que se desarrollen las bacterias en colonias. Estas colonias también son contadas y pueden ser expresadas por cada 1.0 mL, tomando en cuenta el factor de dilución que se uso al preparar las soluciones

## IV

## ASPECTOS ECONÓMICOS Y DE MERCADO

Un mercado potencial para la mayoría de los tipos de digestores se describe en los capítulos anteriores. En varias partes del mundo este mercado está comenzando a ser reconocido. En muchos países en vías de desarrollo la disponibilidad de combustibles es mínima. Una fuente de energía a partir de desechos no comerciales de leña, agrícolas y de granjas.

**IV.1 Digestores de Tecnología Mínima**

En la mayoría de los países más pobres de África y de Asia el consumo de energía comercial era solamente de 220 kilogramos de carbón equivalente por persona de 5750 MJ por año en 1973, mientras que en el caso de países desarrollados era de 6531 kilogramos de carbón equivalente por persona de 169 800 MJ por año. Con frecuencia, debido a los altos costos de transporte, si la energía estuviera disponible, sería onerosa que la mayoría de la población no sería capaz de tener los recursos para ella. Las fuentes de energía no comercial tales como las ya mencionadas proporcionan tanto como el 50 % de las necesidades energéticas totales para casi la mitad del mundo y una ventaja importante de ellas es que se produce localmente y es renovable.

De la misma manera, existe una demanda de fertilizantes, pero desafortunadamente las fuentes locales, en particular de desechos de granja o estiércol, son las mismas que el material que es posible utilizar para el combustible. Hay de 40 a 50 países en los cuales la disponibilidad anual de la energía es muy pequeña de 0.2 a 0.3 toneladas de carbón equivalente (tce) por persona, en estos casos la introducción de la generación de biogás puede incrementar la disponibilidad de energía en 100%.

Hay un gran mercado para los digestores de tecnología mínima de tamaño familiar que no son muy costosos así como unidades más grandes que serían más económicas. Se cree que quizás 12 millones de familias en la India que tienen cinco animales o más podrían instalar plantas de biogás de tamaño familiar para ayudar a proporcionar un poco de energía y

fertilizante en el futuro. Esto ahorraría aproximadamente 2.44 kilogramos de coque, 2.33 kilogramos de carbón, 269.0 kilogramos de leña, 4.76 kilogramos de keroseno, y 0.61 KWH de electricidad por persona por año. Muchas de las ventajas tales como la prevención de tala de árboles y la conveniencia del combustible metano no son cuantificables. Cada planta de biogás del tamaño familiar con capacidad de 2.8 m<sup>3</sup>, requeriría de una inversión inicial de aproximadamente \$200 dólares, (precios de 1977) en la India. En otros países en vías de desarrollo los costos están en la misma orden.

Las plantas de mayor tamaño también se ven como mercado potencial. Por ejemplo, en la india para una comunidad típica de aldea de 100 familias y de 250 animales podría producir 170 m<sup>3</sup> de biogás por día, 130 toneladas de abono con 2 % del nitrógeno por año para un costo de capital de \$10 000 dólares. (precios de 1977). En otros países los costos de diseño de digestores similares están en el misma orden.

En un esfuerzo de reducir costos de construcción, se han desarrollado otros diseños; por ejemplo en Taiwán una bolsa en forma de "salchicha" fabricada de 0.55 milímetros de espesor de material plástico ha estado funcionando con éxito por varios años. El material plástico ordinario, tiende a agrietarse después de su exposición prolongada al sol y a la lluvia, y debido a esto se ha comercializado un material hecho de plástico con la adición de un 12% de barro rojo.

Los generadores del metano hechos de este material reclaman tener características extraordinarias al desgaste por la acción atmosférica y una vida útil media de 10 a 15 años. Los costos para un digestor de 50 m<sup>3</sup> de capacidad son de \$526 dólares. (precios de 1978), para 100 m<sup>3</sup> de capacidad \$1000 dólares, y para 500 m<sup>3</sup> de capacidad \$3947 dólares. Este último digestor es de 71 m de largo y 3 de diámetro con todo pesa 2500 kilogramos y así es posible transportarlo fácilmente al sitio. Los costos del digestor y del contenedor de gas, sería de aproximadamente un 10% de una unidad de concreto y acero de capacidad semejante.



## IV.2 Digestores en Pequeña Escala de Alto Consumo.

En muchos países el uso de tecnología mínima, los digestores de mano de obra intensiva no son prácticos. De cualquier modo, hay una necesidad de automatizar los digestores de alto consumo que incluso tienen que ser bastante simples para ser económicos. Antes que el tamaño de familia, en este caso el potencial de mercado es para una unidad grande con cantidades considerables de productos útiles. En países muy pobres es posible que la producción de 2 o 3 m<sup>3</sup> del gas por día incremente la calidad de vida de una familia considerablemente, pero en países más ricos incluso si el gas estuviera totalmente "libre" esta cantidad sería de poco valor muy pequeña en proporción de la energía total gastada. En la tabla 1<sup>8</sup>, se resume el consumo de energía doméstica total en 1976 en el Reino Unido.

TABLA 1	
USO DE ENERGÍA DOMESTICA EN INGLATERRA EN 1976	
Fuentes de energía	Cantidad
carbón	10.66 millones de toneladas
Brisa	0.87 millones de toneladas
Otros sólidos combustibles	2.43 millones de toneladas
Gas	145 millones de toneladas
Gas natural	6049 millones de toneladas
Electricidad	85.12 terawatt hora (tWh)
Petróleo	3.27 millones de toneladas

Sin embargo, para una empresa pequeña que podría utilizar el metano producido de sus desechos para la calefacción o generar vapor, por ejemplo, la energía disponible puede significar un ahorro de consideración en los costos de combustibles. De manera semejante el uso de un digestor anaeróbico en lugar de una unidad aeróbica para tratar aguas residuales podría ahorrar mucha de energía incluso si solo se uso el gas necesario para calentar el proceso y el resto simplemente se quemó a la atmósfera. La tecnología y el equipo, por supuesto, existe ya para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales y tales plantas están diseminadas a través del mundo. Sin embargo para las comunidades

pequeñas los costos son con frecuencia demasiado altos para que las autoridades justifiquen el instalar los digestores convencionales y hay evidente necesidad de unidades centrales de producción de un costo de capital muy bajo y del alto rendimiento, por tanto el interés actual de muchas empresas en este aspecto de la digestión anaeróbica.

Los digestores de tamaño agrícola crean otro mercado potencialmente grande puesto que hay a menudo un problema con la disposición de abonos y la energía contenida en el gas, serían bienvenidas en la mayoría de las granjas. Incluso los residuos del digestor es posible colocarlos en la tierra como fertilizante sin riesgos de alta contaminación, por ejemplo, en Nueva Zelanda, existe un estímulo oficial para que los granjeros utilicen los digestores. Para tal mercado las unidades deben ser relativamente baratas, fáciles de operar, de mantener y probablemente con una capacidad de 50 a 100 m<sup>3</sup>.

La economía de la digestión depende ampliamente del valor que se le de al gas y al residuo del digestor así como los costos de cualquier proceso de tratamiento alternativo que sea posible diseñar para sustituirlo. El valor del gas depende del combustible que es sustituido; por ejemplo para los granjeros en áreas aisladas del país puede ser propano o butano de alto precio, mientras que para otros usuarios es posible sustituir el carbón menospreciado. Si el residuo se utiliza solamente como fertilizante, su valor reflejará el costo actual de nitrógeno y otros nutrientes de cultivos, mientras que si se utiliza como fuente de la proteína en suplemento alimenticio de animales, sería merecedor de alimento alternativo que sustituye. En algunos pastizales, los residuos del digestor deben ser utilizados directamente sin la transformación posterior, mezclado con el alimento normal, ya que el valor proteínico del mismo lodo es alto.

Es posible que un mal diseño del digestor no sea económico incluso si los valores del producto son altos, debido a los costos de capital excesivo o más probable a los altos costos de operación. Por lo general la mayor parte del calentamiento consiste en elevar la temperatura de la alimentación y para un tamaño particular de digestor esto será ampliamente influenciado por el tiempo de retención elegido. Para tiempos de retención extensos

significa menos residuos adicionados y por tanto menos costos de calentamiento. De cualquier modo, por lo general existe un volumen de desechos fijo a tratar y en este caso sería una ventaja un tiempo de retención corto ya que significa un digester de volumen más pequeño y por esto pérdidas superficiales mínimas. Además, ya que el calor requerido para elevar la temperatura de la alimentación será casi la misma sin importar el contenido de sólidos totales, es una ventaja una alimentación elevada en sólidos.

#### **IV.3 Digestores en Gran Escala.**

Hay mercado potencial para los digestores muy grandes tales como los que ya funcionan en los Estados Unidos, por ejemplo, los pastizales de ganado vacuno es posible que tengan una capacidad de 100 000 cabezas y el abono producido de tal sitio tiene que ser dispuesto. Se está utilizando la digestión anaeróbica en un número de localidades, capaces de procesar 500 t de desechos de ganado por día y en el diseño los niveles de funcionamiento producirán bastante gas de metano para resolver los requisitos de calefacción anual de 3 500 hogares. La planta alcanza viabilidad económica solamente por la producción y venta combinadas del gas metano y de forraje para ganado vacuno junto con un fertilizante del residuo líquido.

La planta de Bartow procesa otra vez el estiércol de ganado vacuno, de los grandes pastizales de las industrias de Kaplan, para producir el metano y la intención es utilizar el residuo sólido como suplemento alimenticio. El residuo líquido se trata en una serie de lagunas con peces desarrollados en las algas.

Estos dos ejemplos son evidencia para un mercado que existe para el tratamiento a gran escala de los desechos animales mediante la digestión anaeróbica. La viabilidad económica depende como siempre de un número de factores; en este caso aparecería en el valor de la proteína, si es posible referirlo al ganado vacuno.

Otro proceso de digestión a gran escala está interesado con la extracción de gas de sitios sanitarios de eliminación de residuos sólidos que están, en efecto, actuando como un digester gigante. Por ejemplo, los estudios

conducidos en la ciudad de Los Ángeles demuestran que aproximadamente 3 millones de toneladas de desperdicios domésticos se colocan en los terrenos sanitario cada año en la región de Los Ángeles y se estima que la producción potencial de biogás a partir de esta cantidad de desechos, si se puede extraer, sería del orden de  $1.4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$ . Este volumen es solo una posibilidad teórica, aunque en los sitios de eliminación de residuos sólidos de Palos Verdes produce  $56\,600 \text{ m}^3$  del gas por día de, que ahora contiene aproximadamente 15.5 millones de toneladas de desperdicios.

El trabajo experimental en la Universidad de Illinois y en otros lugares está ocupado con la identificación de los parámetros principales que influyen en la rapidez de producción de sitios de eliminación de residuos sólidos. Se cree que la vida eficaz de estos sitios es de 17 años, tiempo durante el que es posible extraer una cantidad de 20 mL/Kg de peso seco por día. Es a través del trabajo experimental, combinado con la extracción comercial activa que ya se lleva a cabo, se harán las mejoras en las técnicas de relleno sanitario para maximizar la producción del gas. Indudablemente hay mercado para este tipo de tecnología a gran escala de la digestión.

Los digestores convencionales también se han utilizado para producir metano de los desperdicios municipales. Esta planta experimental puede convertir hasta 100 t/día de los desechos sólidos orgánicos mezclados con algo de lodo de aguas residuales municipales en el gas rico en metano. Los expertos estiman que una planta de 1000 t/día podría producir bastante metano para cubrir la demanda de gas natural de 10 000 hogares mientras que en el proceso se reduce el volumen de desechos en 70%.

Otro mercado potencial para la digestión anaeróbica en gran escala es para la energía de materia agrícola. Por ejemplo, se estima que en Nueva Zelanda, sería muy factible cubrir la demanda de consumo de energía actual producido por digestión a partir del desarrollo de maíz sobre el 10% de tierra agrícola del país. De la misma manera, Australia necesita sobre 2% de la tierra agrícola sembrada de maíz con el propósito de reunir las necesidades de energía actual.

En Estados Unidos con su alta demanda energética y su gran población casi requerirían el conjunto de su tierra que cultiva para resolver sus necesidades energéticas con este método, mientras que el Reino Unido necesitaría casi 13 veces su área agrícola.

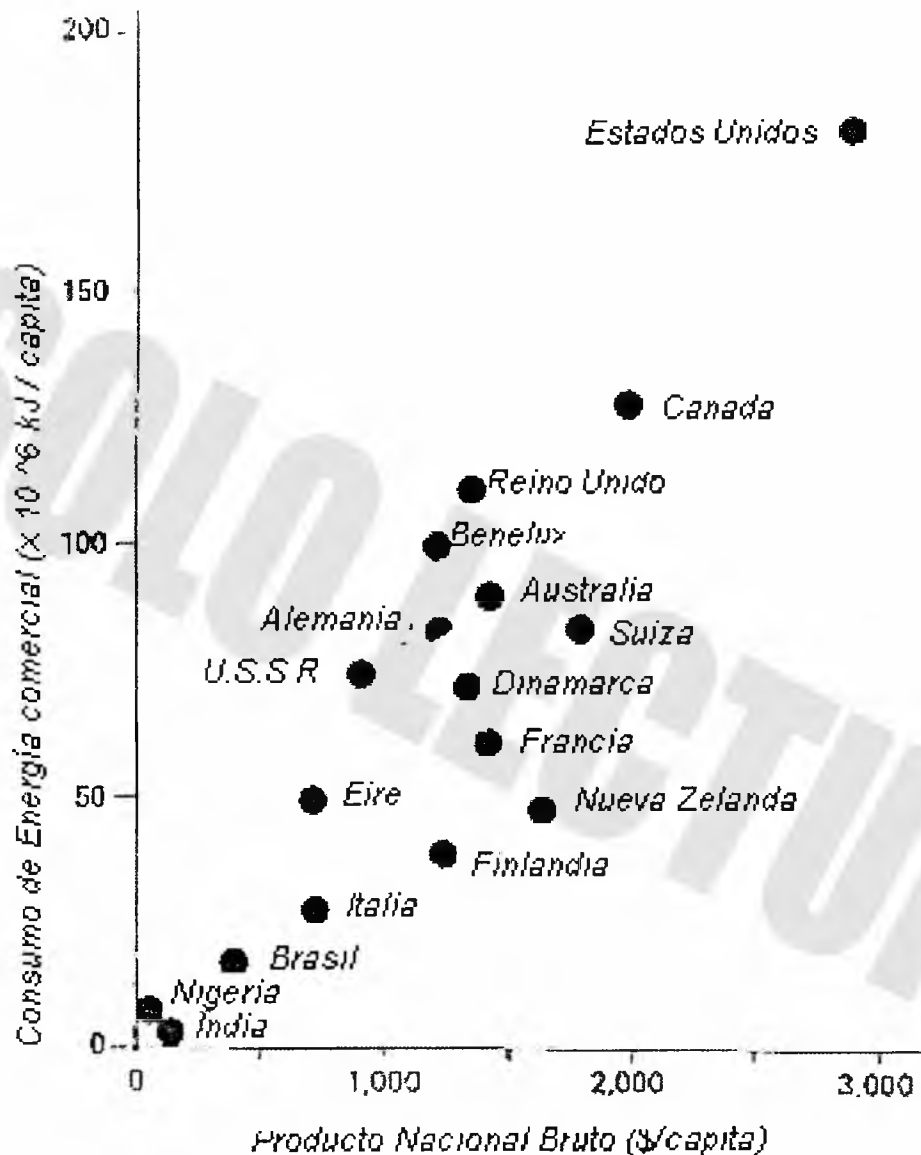


FIGURA 1. La relación entre el Producto Nacional Bruto (PNB) y el consumo anual de energía total de varios países.<sup>25</sup>

Sin duda, para países altamente industrializados con altas densidades demográficas, el gas metano a partir de la digestión anaeróbica del acopio de vegetales su contribución es muy pequeña a las necesidades energéticas de la nación. De cualquier modo, estaría bien que exista un

mercado potencial para los digestores a gran escala usando energía de cosechas como material de la alimentación en ciertos países.

Es casi inevitable que los digestores a gran escala encuentren un lugar en el futuro en el sitio de industrias que producen grandes cantidades de desechos orgánicos. Son ejemplos de este tipo mercado, las fábricas de procesamiento de alimentos, cervecerías, y los grandes productores de alimentos.

#### **IV.4 La Economía**

Una evaluación de las sugerencias de la digestión anaeróbica como un sistema de producción de energía alternativa o mecanismo de reducción de contaminación dependerá de las condiciones locales así como de la política de los países con respecto a uso de la energía y en estos términos los costos

. La tabla 1 indica el uso relativo de la energía con respecto al producto nacional bruto (PIB), aunque muchas naciones industriales "aparecen" derrochadoras con respecto al consumo energético, es indispensable tener en mente que lo más complicado de la tecnología de los procesos industriales, la que usa más energía. En países donde ciertas fuentes de energía se consumen rápidamente, por ejemplo el gas natural, y donde la conveniencia de tal utilidad es importante, en tal caso es posible favorecer la digestión anaeróbica como proceso alternativo. Sin embargo, incluso en países desarrollados el lugar de una digestión de "tecnología mínima" para las granjas pequeñas puede ser altamente apropiado ya que el gas producido puede ser extremadamente útil en cubrir un déficit local de suministro de energía.

Para los países en vías de desarrollo el potencial es enorme, actualmente en Paquistán, el 75% de la población vive en 45 000 aldeas, de las cuales solamente 6 000 (el 13%) tienen electricidad. Apoyado en los estudios para el programa del ambiente de las Naciones Unidas (UNEP, por sus siglas en inglés) y las Naciones Unidas, para los recursos naturales, energía, y de transporte en Nueva York, ahora se diseña un nuevo esquema para que Paquistán aproveche su energía solar, la energía del viento, y la biomasa

de la aldea genere la corriente eléctrica para aldeas de 100 a 150 familias. Son conocidos como centro rural de energía (REC) y utilizarán solamente los dispositivos tecnológicos probados. La ONU, acordó construir 4 REC en Paquistán con costos de \$800 000 dólares y pueden tardar de 2 a 3 años para ser funcionales. El otro REC se está estableciendo en Sri Lanka, México, y Senegal para determinar su conveniencia en diversas localizaciones geográficas. Aunque la electricidad generada de esta manera es costosa, se considera que no hay ninguna alternativa para estos países con las aldeas dispersas en áreas grandes. Indudablemente las centrales eléctricas que queman aceite o carbón no son factibles para una agregación de aldeas alejadas.

Aunque la demanda energética en países en vías de desarrollo es probable que aumente, en Europa la rapidez de incremento se está retardando. No obstante, un informe reciente (1978) por la Comisión de las Comunidades Europeas para los ministros de los consejos indica que mientras las demandas de petróleo y de electricidad son probables que aumenten en el futuro cercano en 3 y 3.9%, respectivamente, el aumento para el gas natural estarán cerca del 10%. Cuando los suministros de gas se colocan bajo grandes presiones, un requisito para sustituir el gas natural (SNG) es posible que sea más importante. Si o el gas metano derivado de los digestores anaeróbicos desempeñará un papel importante en la producción del SNG nacionalmente, en países desarrollados dependerá mucho de los costos de combustible y de la disponibilidad de recursos de deshecho naturales. En cualquier acontecimiento los materiales de desecho disponibles pueden producir solamente de 5 al 10% de las necesidades energéticas actuales del Reino Unido o de los Estados Unidos. El uso de la energía de cosechas es posible que mejore las descargas un poco, pero se requiere de áreas extensas de tierra para esto.

Un ejemplo de la economía de usar energía de las cosechas como alimentación a un digestor indica la posibilidad, a nivel local, de proporcionar un regreso útil de capital. Esto se demuestra en la tabla 2. Las cifras son para un tiempo de retención hidráulico de 11.6 días, pero para un incremento de TRH de 18.5 días se elevó el capital de inversión en

el digester a \$75.45 millones en comparación con \$50.35 millones, con una reducción substancial en el beneficio neto bruto y un regreso en la inversión de 10.92%. Un TRH de menos que esto con un digester pequeño reducirá mucho el capital y así considerablemente costos de funcionamiento.

Aún no es posible deducir las fórmulas que se puedan aplicar a los digestores anaeróbicos con el fin de asegurar su viabilidad económica. El digester puede ser agrupado en cuanto a los mercados en tres categorías por conveniencia. En un extremo de la escala existen las unidades de tamaños pequeños de construcción simple, mientras que el otro extremo incluiría los diseños más sofisticados de gran capacidad quizás de 5000 m<sup>3</sup> o más. Aunque en este extremo de los más grandes de la gama de digestores pueden ser quizás más costosas con respecto a las instalaciones técnicas de los de tecnología mínima, este planteamiento es inadecuado para la mayoría de los digestores.

Ya se han hecho algunas observaciones con respecto a costos de capital, una vez más es apremiante señalar sobre la escasez que hay acerca de la información sobre los costos de instalación de los digestores. Las fórmulas de diseño para las plantas de tratamiento de aguas no son necesariamente convenientes para costear los digestores.

Las funciones de costos se obtienen generalmente para la mayor parte de los artículos del capital de construcción. Éstos se apoyan en muestras grandes de información fácilmente actualizadas. Sin embargo, por lo general se reconoce que los resultados de un estudio estadístico no podrían competir con la exactitud que alcanza un ingeniero bien informado y experimentado con buena información de la localidad. Quizás uno de los mejores reportes sobre la información de los costos para los digestores usados en la industria de la disposición de aguas residuales se encuentra en el Reino Unido, sin embargo, solo es conveniente para estimar costos de los digestores para la disposición de aguas residuales encontrado en trabajos de tratamiento municipal en Gran Bretaña.



<b>TABLA 2</b>	
<b>ECONOMIA DEL PRODUCCION DEL METANO DE LOS COMBUSTIBLES DE LAS COSECHAS</b>	
<b>Capital de inversión (millones de dólares)</b>	
<b>Digestores</b>	<b>32.39</b>
<b>Almacenamiento y moledoras</b>	<b>1.17</b>
<b>Compresores</b>	<b>1.9</b>
<b>Bombas y tubería</b>	<b>2</b>
<b>Absorbedores</b>	<b>0.31</b>
<b>Intercambiadores de calor</b>	<b>0.96</b>
<b>Contingencias (30%)</b>	<b>11.62</b>
<b>Total</b>	<b>50.35</b>
<b>Ingresos (\$2, millones/año)</b>	<b>33.85</b>
<b>Costos de operación</b>	
<b>Materiales sin tratar (\$10/t)</b>	<b>14.63</b>
<b>Energía</b>	<b>0.26</b>
<b>Agua</b>	<b>0.32</b>
<b>Trabajo</b>	<b>0.43</b>
<b>Mantenimiento</b>	<b>2.52</b>
<b>Depreciación</b>	<b>2.52</b>
<b>Seguros e impuestos</b>	<b>1.01</b>
<b>Total</b>	<b>21.69</b>
<b>Beneficio bruto</b>	<b>12.17</b>
<b>Beneficio total</b>	<b>6.08</b>
<b>Regreso de inversión</b>	<b>17.08</b>

Estimar los costos de operación para digestión anaeróbica no es difícil. Sin embargo, se dispone de poca información publicada porque hay muy pocos digestores comerciales en operación, distintos de los trabajos de tratamiento de aguas residuales. Incluso estas fuentes no pueden ser confiables porque se utilizan diversos sistemas de contabilidad que ocasiona incertidumbre, en cuanto a tarifas de depreciación y cargos de interés. Por tanto puede ser muy engañoso

TABLA 3

## COSTOS DE ALGUNOS FACTORES TÍPICOS DE LA INGENIERIA QUIMICA

COSTOS DIRECTOS	TIPOS	MINIMO	MAXIMO		
a. material sin tratar	R				
b. energía	E				
c. trabajo	L				
d. supervisión	0.2L	0.1 L	Bajo Nivel de tecnología, alto nivel de trabajo.	0.25 L	Alto nivel de tecnología, bajo nivel de trabajo.
e. salarios	0.25 (c + d)	0.15 (c + d)	Ciudad desarrollada	0.5 (c + d)	Europa
f. mantenimiento	0.06 I	0.02 I	Condiciones apacibles, baja utilización	0.15 I	Muy corrosivo, muy abrasivo, gran utilización
g. operaciones de abastecimiento	0.0075 I	0.005 I	Procesos simples	0.01 I	Procesos complejos
h. laboratorio	0.1 L	0.03 L	Buena estabilidad o la mayor parte de productos	0.2 L	Nuevos productos, altas especificaciones de productos especiales
j. patentes		0	Procesos propios	0.06 S	Procesos nuevos
k. contingencia	0.05 de a - j	0.1 de a - j	Baja incertidumbre	0.01 de a - j	Alta incertidumbre
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
l. tipos	0.03 I	0.02 I	Areas no desarrolladas	0.04 I	Areas desarrolladas
m. seguros	0.01 I	0.004 I	Riesgos bajos/ peligro	0.02 I	Riesgos altos / peligro
n. gastos generales/ administración	0.5 L  +0.02 I	0.4 L  + 0.01 I	Plantas grandes  Pocas variaciones, ordenes grandes	0.8 L  + 0.04 I	Plantas chicas  Varias variaciones. Ordenes pequeñas
o. investigación	0.03 S	0.015 S	Química antigua, procesos antiguos	0.055 S	Química nueva, nuevos procesos
p. ventas y distribución	0.1 S	0.02 S	Contratos de ventas, viejos productos	0.22 S	Productos nuevos, ordenes pequeñas
q. contingencias	0.03 de l - n	0.01 de l - n	Baja incertidumbre	0.05 de l - n	Gran incertidumbre

aplicar la información que fue obtenida originalmente, de un proceso químico típico para calcular los gastos de operación de un digestor.

Es común en la práctica de la ingeniería química expresar todos los costos de operación o variables en términos de funciones de uno o más de los elementos siguientes: materias primas, mano de obra, energía, costos relacionados con la inversión fija, y precio de venta del producto. Se dispone de formulas para estimar los costos de operación, pero se apoyan en lo establecido de los procesos disponibles. En la tabla 3 se muestran elementos de la función de costos, para el cálculo de los costos directos e indirectos con valores característicos, así como variaciones máximas y mínimas. Tal información se debe utilizar con gran cuidado y con una gran dosis de sentido ya que por lo general se calculan para plantas químicas a gran escala. Por ejemplo, considere un digestor de alta de tamaño medio con costos de capital de \$ 60 000 adecuado para desechos de granja. Con el cálculo de los costos de pago de nómina para un nivel de tecnología mínima de la tabla 3 en Europa esto sería a  $0.5 (c + d)$ , donde  $d$  sería estimada como  $0.1 I$ , que es costo de pago de nómina que sería  $0.55 I$ , más de la mitad de los costos de mano de obra. En realidad es posible que para un digestor en la que los costos de mano de obra y de supervisión son cero si la mano de obra que opera el equipo es parte del personal, o es muy pequeño si la mano de obra adicional se une al personal donde existe una supervisión adecuada. De la misma manera, los costos de mantenimiento anual para un caso típico de la tabla es  $0.06 I$  donde  $I$  es el costo de capital. Ya que los abonos de animales por lo general son completamente corrosivos, altamente abrasivos, la planta tendrá alto aprovechamiento, es posible seleccionar una cifra cercana al máximo de  $0.15$ . No obstante esto es de \$9 000 dólares, la experiencia indicaría que es demasiado alta para tal situación, una cifra más realista que es considerando  $0.05 I$ , que es \$3 000.

Para verificar estos factores los costos deducidos tiene que ser examinados apoyándose en la experiencia.

La depreciación del capital depende del método de contabilidad elegido y hay muchos de éstos. Por lo general es un concepto artificial necesario

para propósito de los impuestos, y el más simple es el método de la línea recta por lo que los costos de depreciación anual son conocidos por la expresión:

$$d = \frac{V - V_s}{n}$$

Donde  $d$  es la depreciación anual en dólares por año,  $V$  es el valor original de la planta,  $V_s$  es el valor al final de la vida del servicio, y  $n$  es la vida de servicio en años.

Si la vida del digester en el ejemplo se cotiza considerando 18 años con un valor de desecho de cero al final, una situación poco realista, los costos de depreciación anuales serían  $1/18 I$ , que es  $0.0555 I$ , o \$3 333. Esta cifra tendría que ser agregada a todas las otras para conocer una estimación de los costos anuales de la operación.

Naturalmente, por lo general uno tendría los cargos de interés, que complican más los cálculos. Algunas veces un digester será utilizado de preferencia a otro método de tratamiento alterno, y en tal caso esto se debe tomar en cuenta en términos de ambos costos de funcionamiento y de capital.

Uno de los elementos más importantes en la determinación de la viabilidad económica de un digester es el valor de los productos, que son el gas y los residuos. El gas se puede valorar a los precios actuales del gas natural o al precio actual de otros combustibles del que va a sustituir. El residuo es posible valorarlo como material rico en proteína para alimento, si es aceptable, o como fertilizante de valor mínimo. Es difícil estimar éstos a menos que se asegure el mercado; en tal caso incluso es posible que los precios fluctúen extensamente en un período corto del tiempo, reflejando las fuerzas de mercado variables, condiciones económicas, aceptación pública o políticas gubernamentales.

Quizás la situación más segura es una en la que el productor y el usuario son igual o el resultado de una cooperación cercana que les proporcione menos incertidumbre para ambos. Un ejemplo simplificado del presupuesto de un digester se muestra abajo.

Una situación típica podría involucrar una unidad de cultivo intensiva con un volumen conocido de desechos que se están produciendo. El problema es cerciorarse si la digestión anaeróbica sería o no una inversión de digna de atención. Un lado de la ecuación se relaciona con los costos y del otro con la utilidad. Los costos involucran capital de reembolso junto con los costos de operación del digestor. La utilidad será compuesta del gas que tiene un valor dependiendo de la situación y además de los residuos. Éstos se pueden considerar como mercancía valiosa si se utiliza como aditivo de alimento para animales, debido a su contenido proteínico, o como fertilizante debido a su contenido relativamente alto de nitrógeno fosfato y potasio y carente de olor, considerando primero los costos.

#### **IV.4.1 Costos de capital (C).**

Las estimaciones de los costos de capital dependen del método elegido. La figura 2 muestra los costos en función de la capacidad para un intervalo de tamaños del digestor usando tres métodos comúnmente usados para estimar el capital (precios de 1978). Uno es la ecuación del factor de potencia descrita anteriormente:

$$X = Y \left( \frac{C_2}{C_1} \right)^{0.66}$$

Donde X es el costo requerido de la planta nueva,  $C_1$  es la capacidad de la planta con costos conocidos,  $C_2$  es la capacidad de la planta para la que se requieren los costos, y Y son los costos reales de la planta  $C_1$ .

Esta ecuación se utiliza para evaluar nuevos procesos para obtener un orden de magnitud burdo de los costos para la planta y se utiliza extensamente procesos en ingeniería química.

Otra ecuación que se usa en la figura 2 es:

$$C = 116(W)^{0.97}$$

Donde W es el volumen en  $m^3$ . Es para estimar los costos de capital de digestores anaeróbicos usados en el tratamiento de las aguas residuales. Aún se usa en otro método la fórmula:

$$C = 131(V)^{0.58} \times (N)^{0.89}$$

Donde V es el volumen del digester en m<sup>3</sup> y N es el número de tanques; para el ejemplo elegimos N=1. Esto se aplica otra vez a los digestores mesofílicos en la industria del tratamiento de las aguas residuales. El mejor método y el único confiable para la estimación precisa de los costos es la cotización del precio de una empresa fabricante.

Para el propósito del ejercicio ha sido adoptada la ecuación  $C = 116 (W)^{0.97}$  ya con las cotizaciones con la cotización del fabricante y se reconoce que proporciona la estimación de costos más alta y por tanto más pesimista para el tamaño más grande de digester.

#### **IV.4.2 Costos directos.**

**IV.4.2a Energía (E).**- Las suposiciones siguientes se relacionan con un digester de tamaño pequeño.

1. La principal entrada de energía.- de alimentación, de mezclando y de calentamiento. Se supone que el calentamiento es por medio del gas del digester y que se utiliza aproximadamente un tercio del gas para este propósito cada año.

2. Calentamiento.- Ningunos aparte del sistema de calentamiento de las bombas. Se supone un motor de 186 W funcionando de manera continua es decir 1634 kWh. Esto concuerda con la experiencia del autor. El mezclado con un motor de 3730 W que funciona 3 min cada 30 min da 3267 kWh.

3. La alimentación, usando un motor de 373 W que funciona continuamente utiliza 3267 kWh. En el Reino Unido el precio actual de la energía es de aproximadamente 2.7 penny por Kwh.; el costo total para esta energía sería \$220 libras esterlinas por año.

**IV.4.2b Mano de obra (L).**- Es posible suponer que se requerirá la atención continua de un obrero para un digester de tamaño medio. La unidad más grande de 5 000 m<sup>3</sup> de capacidad podría requerir de 2 obreros, pero la unidad más pequeña no requerirá de personal adicional

como se espera que sea la atención rutinaria necesaria será proporcionada por el personal existente.

**IV.4.2c Supervisión (S).**- No se esperará ninguna supervisión excepto posiblemente para las instalaciones grandes que emplean a mucha gente.

**IV.4.2d Pago de nomina (N).**- Se supone que es aproximadamente un 25% del costo de mano de obra directa.

**IV.4.2e Mantenimiento (M).**- Una estimación sensible para un digestor bien diseñado de tamaño medio debe ser el máximo alrededor de \$ 1 000 libras que es igual a 0.015 de (C).

**IV.4.2f Suministros de operación (SF).**- Esto incluye ropa de protección, jabón, toallas de papel, aceites y grasas lubricantes, herramientas, escobas y palas, etc., que es igual a 0.0015 de (C).

**IV.4.2g Laboratorio (L).**- A falla del digestor, cierta clase de análisis podría ser deseable o requerida. Esto será abastecido bajo contingencias.

#### **IV.4.3 Costos Indirectos.**

**IV.4.3a Tarifa (T).**-Estos son igual a 0.03 de (C).

**IV.4.3b Seguro (S).**-Este son igual a 0.01 de (C).

**IV.4.3c Administración general (AG).**- Las plantas de tamaño más pequeñas no comprometerán personal adicional; en consecuencia es posible suponer ningún costo extra en esta área. De la misma manera, para las plantas de tamaño mediano, el número de gente involucrada crea costos de administración insignificantes. Las plantas muy grandes podrían aproximarse a la cifra más baja que se supone razonable para el complejo industrial químico más pequeño.

**IV.4.3d Contingencia (CO).**- Este se abastecerá para posibles fallas del digester y otras circunstancias inesperadas y por lo tanto se podría considerar como un factor de seguridad. Suponga 0.03 de los costos de capital que en la experiencia del autor proporciona una cantidad razonable a la fecha. Por lo tanto los costos totales por año es posible describirlos de este modo:

**Reembolso costos de capital de préstamo + Costos directo de los costos + Costos = CT indirectos**

Esto dependerá de las circunstancias, pero para los propósitos de este ejemplo se supone que el crédito será un préstamo en base a una tasa de interés del 15% por 10 años, con pagos parciales anuales de \$ 196 libras esterlinas por año por \$ 1 000 libras esterlinas de crédito, que es igual a un pago grueso por año de 19.62%.

Ejemplo 1.- Unidad de dimensiones pequeñas con capacidad de 125 m<sup>3</sup>.

Costos de capital =  $116 (125)^{0.97} = \$12\ 550$  libras esterlinas

Pagos = 2450 por año. Esto se apoya en el tipo préstamo de anualidad con una tasa de interés del 15% sobre 10 años.

**Tabla de costos 1**

<b>Costos Directos</b>		
E	=	0.017 de C=£220
L	=	0
S	=	0
N	=	0
M	=	0.015 de C=£188
SF	=	0.0015 de C=£19
<b>Costos indirectos</b>		
T	=	0.03 de C=£375
S	=	0.01 de C=£125
AG	=	0
CO	=	0.03 de los costos capitales.



Costos total por año=2460+20+188+19+375+125+375=£3762.

Ejemplo 2.- Capacidad de 1000 m<sup>3</sup>.

Costos de capital = £94 282.

Reembolso = 18 479 por año

**Tabla de costos 2**

<b>Costos Directos</b>		
E	=	0.017 de C=£1652
L	=	Trabajador, £4000 por año
S	=	0
N	=	25% de L=£1000
M	=	0.015 de C=£1410
SF	=	0.0015 de C=£140
<b>Costos indirectos</b>		
T	=	0.03 de C=£2830
S	=	0.01 de C=£940
AG	=	0
CO	=	0.03 de los costos capitales=£2830

Costos total por año= \$18479+ 1652 + 4000 + 1000 + 1410 + 140 + 2830 + 940 + 2830 = **£31 281** por año.

#### **IV.4.4 Impuestos.**

Se asume que el digester funcionará encendido 10 días en RT, alimentado con abono de la granja al 6% de TS con un contenido de 70% de SV co un índice de producción de gas de 0.5 m<sup>3</sup> de metano por kilogramo de SV agregados. Valores característicos pero de ninguna manera optimistas, es posible esperar resultados semejantes a partir de una variedad de deshechos. Ya se consideró el consumo de un tercio del gas para calentamiento, en promedio, y el metano que resta, se utiliza por completo en el lugar con un valor de \$ 0.2 libras esterlinas por caloría pequeña. El residuo se considera que vale \$ 15 libras esterlinas por el mínimo seco de tonelada, como fertilizante orgánico.

Para el digester de 125 m<sup>3</sup>, se adiciona =12.5 m<sup>3</sup> por día =12.5 ton. El peso adicionado=6% de 12.5=0.75 t ST=0.525 t SV. Por lo tanto se produce gas por día=262.5 m<sup>3</sup> =63 875 m<sup>3</sup> de metano por año=\$ 4 509

libras esterlinas dignas del del gas. El residuo podría rendir \$ 2 000 libras esterlinas debido a sus componentes de la fertilización pero debe ser apreciado en una situación de cultivo normal para que el desecho sea valorado. Las ventajas de la digestión son que reduce el contenido del carbón, estabiliza el material, y reduce el olor. En otras circunstancias esto significaría que un desecho contaminante del cual tendría que pagarse su disposición al convertirse en un recurso valioso. El valor podría ser realzado ampliamente si el residuo del digestor se puede vender como fuente alimenticia abundante en proteínas.

Un ejercicio similar en el digestor de 1000 m<sup>3</sup> dará lugar a un resultado de \$ 36 000 libras aceptable para el metano, con el residuo que asciende cerca de \$16 000 libras.

Si el valor financiero no se pone sobre el residuo del digestor, en este caso el retorno de capital invertido está en el orden de 20 % para la unidad pequeña y algo menor para el más grande. Utilizar el residuo, que probablemente en muchos casos, igualará en esta producción del ejemplo sobre el 70% o de regreso a la planta más pequeña en capital de inversión por año. En estas circunstancias la planta puede ser pagada en dos años. Sin embargo, este tipo de cálculo es una situación idealizada; por lo tanto un usuario potencial del digestor debe investigar a fondo circunstancias individuales y tener prueba realizada en el material de desecho previsto para hacer una evaluación realista.

<b>DATOS DE SUMINISTRO DE RESIDUOS DE BIOMASA EN E.U.A.</b>			
	10 <sup>6</sup> ton secas/año		
	Total	Disponibles	Completas
Cultivo	322	278	7
Desechos	36	26	26
Silvicultura	116	114	76
Total	474	418	109

## **IV.5 Prospectivas.**

### **IV.5.1 Valoración de los Desechos y su Disposición.**

Los usos específicos de la digestión anaeróbica en los desechos individuales serán determinados por las fuentes de los desechos disponibles y para el Reino Unido como sigue, en términos de la disponibilidad anual (x 10<sup>6</sup> t):

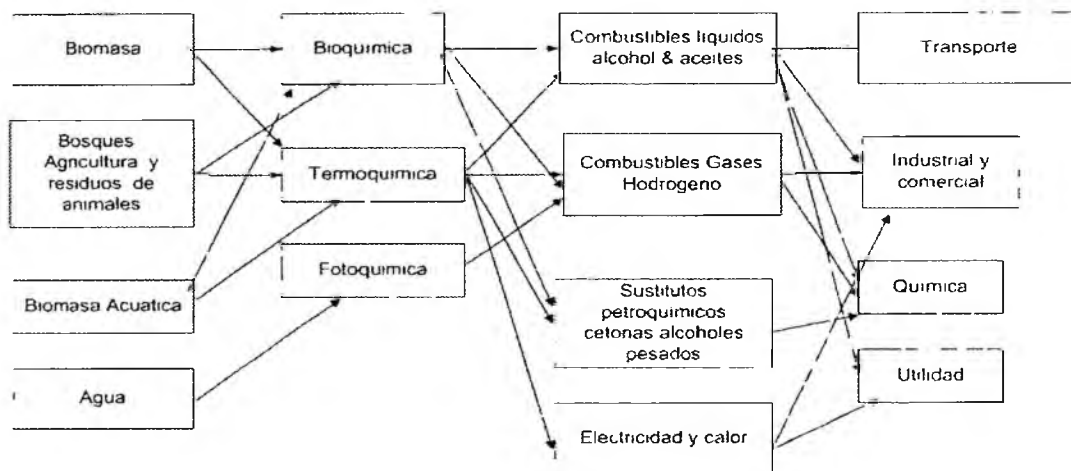
1. Basura Municipal=9.00
2. Abono de ganado vacuno =4.25
3. Desechos de aves de corral =1.25
4. Lodos de aguas residuales =1.60
5. Lechada de porcinos=0.80

Para la silvicultura en los Estados Unidos los desechos ahora son los desechos más grandes que están surgiendo (véase la tabla 4). Como un medio de disposición de los desechos, la digestión anaeróbica es posible considerarla como otro proceso alternativo que tenga un costo en la comunidad. Debido a esos costos, se aplican presiones en los municipios alrededor del mundo para reducir los surgimientos inútiles directamente en la fuente o reciclarlos en productos básicos. En este contexto se debe decir que el metano se debe considerar como un producto básico. El gasto por persona en los Estados Unidos en el manejo de desechos en séptima posición de los estados y presupuesto local. El gasto total para 1975 fue de \$5 000 millones de dólares incluyendo control de la contaminación. Un proyecto experimental de digester que costaba a \$ 7.5 millones se ha construido en Pompano Beach, Florida con el fin de producir energía útil y es contiguo a una planta separadora de desperdicios. No obstante, no se consideran las facilidades como empresa comercial producir metano en un beneficio, pero reducir los costos de vertederos municipales reduciendo el volumen de desechos a eliminar. En el Reino Unido no se considera económicamente viable eliminar desperdicios de esta manera, pero donde el suelo disponible es limitado puede ser una forma útil de eliminación de los desechos con una bonificación de metano.

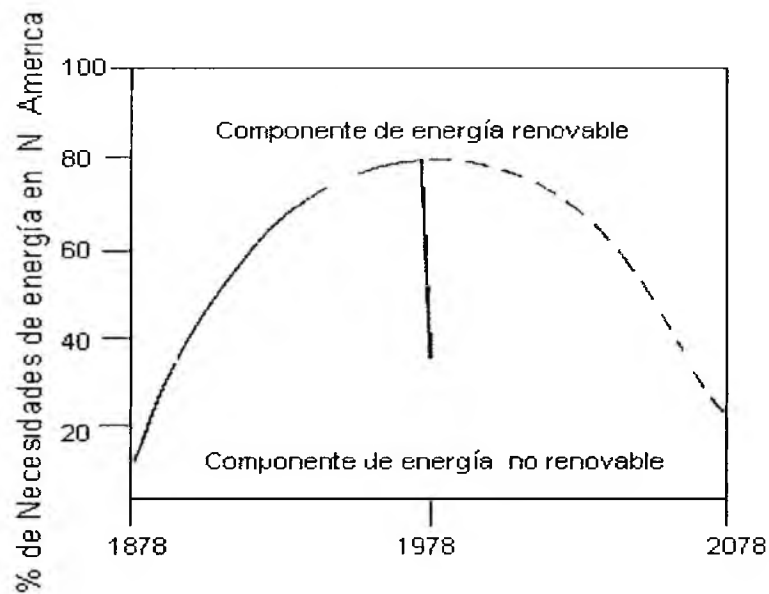
#### IV.5.2 Disponibilidad de la Energía Total.

En el Programa Global de Combustibles de Biomasa de los Estados Unidos., se intenta estudiar los combustibles suplementales que se derivan de fuentes convencionales y una perspectiva publicada por el departamentote energía de los Estados Unidos que se representa por medio de diagramas en figura 3. La disponibilidad actual de los residuos totales de la biomasa está del orden de  $100 \times 10^6$  ton secas con un máximo teórico de  $427 \times 10^6$  ton secas. La investigación se dirige en sitios que produce la selvicultura para estudios de conversión usando lotes de 10 a 12 ha. Durante las plantaciones de 1978/79 se prueban de 400 a 1200 ha para comenzar. El intento es producir granjas de energía en un precio de no más de  $\$1.50/10^6$  kJ (1978 precios) para el año 2000. Actualmente en los Estados Unidos, el SNG estima que de los abonos costaran  $\$2.00/10^6$  kJ y el objetivo es reducir esto a  $\$1.50$  durante los 5 próximos años reduciendo el tamaño de la planta o tener digestores de tecnología mínima según lo descrito en la sección IV.1.

La biomasa renovable va a constituir una vez más uno de los depósitos más grandes de energía potencial ya que las fuentes de energía no renovable se están utilizando hasta ahora rápidamente. La figura 4, indica las proporciones relativas de los dos componentes de la energía sobre 200 años. Es solamente corto tiempo en la historia de la humanidad, pero durante ése tiempo él parece haber consumido casi todos las fuentes de energía no renovables, principalmente los combustibles fósiles.



**FIGURA 3. Un panorama del Departamento de Energía de los Estados Unidos en su estrategia para producir combustibles a partir de biomasa.**



**FIGURA 4. Representación esquemática de los recursos de energía disponibles para uso, expresado como un porcentaje, en un intervalo de 200 años.**

Esto demuestra por lo tanto la factibilidad de usar los digestores anaeróbicos para el tratamiento de los materiales de desecho y determinar la logística para hacer esto. Es también importante maximizar el potencial de rendimiento de energía de tales sistemas y estudiar los medios más eficientes de utilizar esta energía. El juego de la economía es un papel vital como hemos demostrado en la sección II. Pero las necesidades locales requieren además considerarse en términos de control de contaminación, disponibilidad de energía, tratamiento de la siega para obtener el mayor beneficio a partir de tales sistemas flexibles.

## CONCLUSIONES

La tecnología de la digestión se ha desarrollado significativamente. En la década de los noventa, se han patentado y publicado gran cantidad de trabajos, que indican un esfuerzo por desarrollar alternativas para la obtención de energéticos principalmente en países no desarrollados.

La tecnología de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos se clasifica en tres tipos principales: intermitente (batch), continua y de alta velocidad. La digestión es un proceso seguro que genera un combustible limpio (biogás) y cuyos residuos líquidos son fácilmente degradables y asimilables por tierras de cultivo y mantos acuíferos.

En la digestión anaerobia las reacciones básicas que se llevan a cabo son de óxido – reducción en las que diversos compuestos orgánicos como celulosas, grasas, proteínas, ácidos grasos, alcoholes, ácidos carboxílicos se descomponen en  $\text{CO}_2$  e hidrógeno, mismos que se combinan para formar metano y agua.

Los parámetros que se deben controlar para obtener una digestión eficiente son:

1. La temperatura .- no debe presentarse cambios bruscos de la misma.
2. El pH.- debe de estar entre 6.5 y 7.5.
3. La composición de nuestro residuo.- no debe de contener metales pesados, alcalinos, alcalinos – térreos, compuestos que pueden transformarse en tóxicos como  $\text{N}(\text{NH}_4^+, \text{NH}_3)$ ,  $\text{S}(\text{S}_2^-)$ , adicionalmente se debe de cuidar ya que el proceso se somete a cargas orgánicas y tiempos de retención hidráulica y celular compatibles con el residuo a ser digerido y el tipo de digestor empleado; finalmente este residuo orgánico debe tener en existencia cantidades de Nitrógeno y Fósforo, compatibles con la cantidad de carbono.
4. Límite de carga del proceso.- se deben de evitar sobrecargas orgánicas o tóxicas.

La tecnología de la digestión es sencilla y su aplicación varía de acuerdo a las necesidades y características geográficas de la población. Puede usarse a nivel doméstico o industrial con capacidades de procesamiento desde 25 hasta 7000 toneladas diarias.

El uso de digestores en países avanzados no es intensivo. Algunos estados de la Unión Americana han empezado a construir plantas gigantescas sólo para remediar problemas ecológicos. El uso de metano y el efluente líquido como fertilizantes es muy poco. Estudios recientes han demostrado que incorporar esta tecnología reduciría significativamente costos energéticos. En Europa el desarrollo de la digestión anaeróbica fue debida a la escasez energética en la 2ª. Guerra Mundial y a la crisis del petróleo de 1973, es decir, sólo se usa de manera emergente.

En países no avanzados, el uso del digestor es muy socorrido ya que las reservas energéticas son muy limitadas (principalmente carbón mineral) y ante la escasez de las mismas, este tipo de tecnologías se han aplicado en China, Corea y la India.

En nuestro país la digestión no se usa intensivamente. En Jalisco se utiliza para combatir el problema ecológico que genera la porcicultura intensiva. El objetivo no es tanto obtener y utilizar biogás como energético, sino como un medio de disponer de los residuos que esta industria genera, además de contaminar seriamente la región.

Para el establecimiento de este tipo de tecnologías en zonas rurales se necesita una intensa difusión en la cultura ambiental. Además de promover la educación ambiental básica, hay que hacer del conocimiento general lo que es un residuo orgánico y uno no inorgánico, así como sus diferencias. En todas las escuelas de educación básica ya se lleva este tipo de formación, pero hace falta concientizar a todas las poblaciones que esta alternativa les permitiría obtener un combustible de bajo costo, cuyos residuos serían reutilizados como abono para la siembra y sin la dependencia de combustibles fósiles. La capacitación de recursos humanos es prioritaria para la puesta en marcha y supervisión de un proyecto de tal envergadura.

Hace falta mucho pero este tipo de trabajos es un buen principio para tratar de subsanar dos de los problemas más grandes de la humanidad : la contaminación y la falta de combustible. En este país este tipo de tecnologías podrían ser de uso intensivo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- ANCHAYRA, C. N: *"Preparation of Fuel Gas and manure by Anaerobic Fermentation of Organic Wastes"*; Series No. 15, Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, 1978.
- 2.- ANECDOTAS DE TRIUNFO SOBRE LA ENERGIA DE LA BIOMASA, Una Cartera que ilustra los Usos Económicos Actuales de la Energía de la Biomasa Renovable, Contrato No. EG-77-X-10-0285, Division of Solar Technology, U. S. Department of Energy, Washington, D. C., March 1978.
- 3.- ANON, Y: *"Popularizing the use of marsh gas in rural areas"*; Peking Rev., 18, 15, 1975.
- 4.- ARROYO, Hernández David: *"Estudio Preliminar sobre la posibilidad de obtener biogás a partir de desechos hortofrutícolas y de hortalizas"*; Tesis Profesional, ESIQIE – IPN, 1996.
- 5.- CANTER, L. W: *"Environmental Impact Assessment"*; Mc. Graw Hill Inc., USA, 1996.
- 6.- CLAUSEN, E. C., SITTON, O. C., and GADDY J. L., Bioconversión de materiales de cultivos a metano, Process Biochem., p. 5, 1977.
- 7.- CONESTOGA – ROVERS AND ASSOCIATES LIMITED FOR WASTE TREATMENT DIVISION: *"Guidance Document for Landfill Gas Management"*; Hazardous Waste Branco, Ottawa, Canada, 1996.
- 8.- DE LORA, Soria Federico y Miro, Cavaría Juan: *"Técnicas de Defensa del Medio Ambiente"*; Editorial Labor S. A., Madrid, España, 1978.
- 9.- ECONOMIC AND SOCIAL COMISIÓN FOR ASIA AND THE PACIFIC: *"Report of preparatory Missions on Bio Gas Technology and Utilization"*; RAS/74/041/A/01/01, Manila, 1975.
- 10.- ENERGY STATISTICS 1977, Departament of the environment, Digest of U. K., Her Majesty's Stationery Office.
- 11.- GUDIÑO, Nieto Raúl: *"Simulación del funcionamiento de un birreactor que sirva para generar biogás usando desechos de frutas y verduras"*; Tesis Profesional, ESIQIE – IPN, 1996.
- 12.- HUTCHINSON, T. H: *"Methane farming in Kenya, Compost"*; Sci., p30, November, 1972.



- 13.- IFEADI, C. N: *"Technologies suitable for recovery of energy from livestock manure in Energy Agriculture and Waste Management"*; W. J. Ed., Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich., 1975.
- 14.- KOTZE, J. P: *"Review paper – anaerobic digestion – the characterization and control of anaerobic digestion"*; Water Res., 3, 459, USA, 1989.
- 15.- LEHNINGER, Albert L: *"Bioquímica: Las bases moleculares de la estructura y función molecular"*, Ediciones Omega S.A., 2ª edición, 8ª reimpresión, Barcelona, 1984.
- 16.- LUND, H. F: *"Industrial Pollution Control Handbook"*; Mc. Graw Hill Book Co., USA, 1981.
- 17.- MORALES, Alcántara Karina: *"Estudio sobre las técnicas de saneamiento en sitios de disposición de basura"*; Tesis Profesional, ESIQIE – IPN, 1998.
- 18.- PARÉS, Ramón y Juárez, Antonio: *"Bioquímica de los microorganismos"*, Editorial Reverte S.A., Barcelona 1997.
- 19.- SEOANEZ, Calvo Mariano: *"Ingeniería del Medio Ambiente"*; Coedición Ediciones Mundi – Prensa, Análisis y Trabajos prospectivos, Madrid, España, 1996.
- 20.- SOLÍS, Díos dado Miguel: *"Estudio de Viabilidad para obtener composta a partir del material biodegradable que contiene la basura"*; Tesis Profesional, ESIQIE – IPN, 1995.
- 21.- VALDEZ, Rodríguez Pedro: *"Estudio sobre los procesos fisicoquímico que tienen lugar en Rellenos Sanitarios"*; Tesis Profesional, ESIQIE – IPN, 1998.
- 22.- [www.biomasa.com.es](http://www.biomasa.com.es): *"BIOMASA"*, 2000.
- 23.- [www.cepis.com](http://www.cepis.com); HDT27: *"Tratamiento de aguas residuales en reactores anaeróbicos, de flujo ascendente, en manto de lodos"*, por Ing. Miguel Mansur Aisse, 2000.
- 24.- [www.fuprojal.org.mx/proyectos/pecuarios/27/8rresiduos.htm](http://www.fuprojal.org.mx/proyectos/pecuarios/27/8rresiduos.htm): *"Manejo y aprovechamiento integral de residuos orgánicos de granjas porcícolas en Jalisco"*, por MC. Gerardo Salazar Gutiérrez, INIFAP, 1999.
- 25.- [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx): *"Generación de residuos sólidos municipales por composición, 1999 – 2002"*, 2003.

---

26.- [www.quintanaroo.gob.mx](http://www.quintanaroo.gob.mx): “*La selva tropical: un ejemplo en el sur de Quintana Roo, México*”; Gestión de Recursos Naturales, segunda época, Número 14, enero – marzo de 1999, pp. 22 – 29.

27.- [www.udla.com.mx](http://www.udla.com.mx): “*Estudiante de la UDLA realiza proyecto ecológico de reciclaje para residuos orgánicos*”; Dirección de Comunicación Social, Cholula Puebla, 09/09/02.

28.- ZUCCHETTO, J. and BROWN, S., Comparación de los requerimiento de energía de combustibles fósiles con los sistemas de calentamiento de agua por medio solar, gas natural, y eléctrico, Res. Recov. Conserv., 2, 283, 1977

SOLO LECTURA