

1 9 8 8

081173036

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE CIENCIAS



TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS TEQUILERAS
EN UN REACTOR EMPACADO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGIA

P R E S E N T A

ENEDINA LOZANO PINEDO

GUADALAJARA, JALISCO 1990

AGRADEZCO SINCERAMENTE

Al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., por darme la oportunidad de realizar mi tesis en sus instalaciones.

A la I.A. Josefina E. Linerio Gil, por su apoyo y dedicación al orientarme para la realización de este trabajo de tesis.

A la Q.F.B Rosa María Domínguez Arias, por sus consejos y motivaciones en la realización de esta tesis.

A todos mis amigos y compañeros que de una u otra forma contribuyeron en la elaboración de mi tesis.

SINCERAMENTE GRACIAS.....

INTRODUCCION

ANEXOS

DEBERES

RESUMEN

ABSTRACT

INDICE

CONTENIDO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

AGRADECIMIENTOS

BIBLIOGRAFIA

EL PRESENTE TRABAJO FUE REALIZADO EN
LA PLANTA PILOTO DEL DEPARTAMENTO DE
MICROBIOLOGIA Y FERMENTACIONES, DE
LA DIVISION DE BIOTECNOLOGIA.
CENTRO DE INVESTIGACION Y ASISTENCIA
EN TECNOLOGIA Y DISEÑO, DEL ESTADO
DE JALISCO A.C.
CON LA DIRECCION DE LA I.A.
JOSEFINA E. LINERIO GIL.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	3
OBJETIVOS.....	25
HIPOTESIS.....	26
JUSTIFICACION.....	27
MATERIALES Y METODOS.....	28
RESULTADOS.....	50
DISCUSIONES.....	61
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	67
FIGURAS.....	68
BIBLIOGRAFIA.....	89

I.- INTRODUCCION

Los residuos orgánicos ya sea en forma de suspensiones concentradas en mayor o menor grado, o bien en forma soluble, son casi exclusivamente tratados por medio de procesos microbiológicos.

De las 2 vías metabólicas, la aerobia ha sido hasta la fecha la más utilizada y consecuentemente la tecnología de los tratamientos aerobios está ya bien establecida. Por su parte la digestión anaerobia estuvo considerada por mucho tiempo como una vía promisoría pero solo aplicable a casos contados.

En la actualidad esta situación ha cambiado gracias a los esfuerzos de investigación realizados en todos los niveles desde el fundamental hasta el desarrollo tecnológico. Lo anterior ha dado por resultado el surgimiento de la digestión anaerobia como una alternativa de tratamiento seria, confiable y eficiente, en muchos casos superior a los procesos aerobios.

Hoy en día el avance en el conocimiento de los fundamentos y en la aplicación de los procesos biotecnológicos para el tratamiento de residuos orgánicos es considerable. A ello ha contribuido el

auge de la biotecnología en general y la necesidad de ejercer cada vez un control más estricto sobre los efluentes contaminantes, ya sean municipales o industriales.

Para realizar el tratamiento de aguas residuales existen dos tipos de procesos: los físico-químicos y los biológicos; los primeros son aplicados con materia orgánica no biodegradable, mientras que los segundos se utilizan cuando los principales componentes contaminantes son biodegradables (1). Especialmente en el caso de las aguas residuales en la industria de producción de levadura y de alcohol; porque se produce un residuo final líquido normalmente llamado "vinaza" La vinaza se ha constituido desde hace mucho tiempo en un grave problema social debido a su alto poder de contaminación, ocasionado por el elevado contenido orgánico que tal residuo posee.(2)

Desde ahora se puede vislumbrar que los tratamientos de purificación biológica anaerobia, serán en un futuro próximo, un campo de importancia, ya que este tipo de sistemas de tratamiento, son los más eficientes, económicos y apropiados (3).

II.- ANTECEDENTES

1 LA CONTAMINACION DEL AGUA

La contaminación es básicamente un problema de exceso de cantidad de desechos. El agua en los ecosistemas naturales recibe siempre, ciertas cantidades de sustancia extrañas, las cuales se diluyen, o se filtran, a través de procesos naturales. Sin embargo, cuando la entrada resulta demasiado grande, los procesos naturales no pueden controlarla en un período normal (4).

La purificación de aguas residuales municipales ha adquirido importancia al comprenderse mejor los efectos ecológicos negativos que ocasiona arrojar contaminantes a las corrientes naturales de agua.

La contaminación de aguas ocasiona que; la duración de dichos cuerpos de agua sea cada vez menor, perdiéndose así un recurso vital para el desarrollo humano; al irrigarse cultivos con aguas insalubres y tóxicas, en el mejor de los casos, éstas no cumplen con los requerimientos nutricionales de la planta, y en el peor pueden ocasionar intoxicación humana y animal. Estos son tan solo unos ejemplos de los daños que ocasionan las aguas contaminadas, han tenido efectos tan graves en la Ecología que los gobiernos e

Instituciones internacionales han elaborado legislaciones para afrontar este problema.

El deterioro ambiental causado por el crecimiento industrial y urbano ha creado la necesidad de tratar el agua para disminuir la concentración de contaminantes desarrollando una tecnología adecuada (5).

Entre las industrias más contaminantes se cuentan: papelería, alimentaria, destilerías, química y petroquímica, metal-mecánica, textil, etc. (6).

Para poder eliminar los contaminantes es necesario emplear un método específico. Es difícil comprender los problemas prácticos que se presentan para desarrollar un tratamiento de aguas. En primer lugar la composición del agua residual es variable e indeterminada (en la industria este problema es menor) los volúmenes que deben tratarse fluctúan, aunque son generalmente grandes; el grado de descontaminación no está establecido de manera definitiva; por otro lado, no existe una conciencia a nivel individual y menos empresarial que justifique los gastos del tratamiento.

Se trata de un problema que aunque todavía no se ha definido perfectamente requiere de solución urgente (5).

El tratamiento de agua y el tratamiento de los residuos han de enlazarse en un sistema de "recirculación". Particularmente los desechos de las destilerías llamados "vinazas" (es el residuo líquido que queda después de destilar el mosto fermentado); está constituida por los hollejos, residuos orgánicos y los y minerales procedentes del agave; y otras sustancias extrañas que les pueden acompañar, etc. (7).

Este residuo es una gran fuente de contaminación pero a la vez de nutrientes, por lo que se considera como un recurso con gran potencialidad de aprovechamiento ya que su volumen de producción es bastante significativo (10 - 14 L de vinaza por 1 L de alcohol) y hasta ahora se encuentra en general subutilizada y causando graves problemas ecológicos; porque su DBO* fluctúa entre 18 000 - 35 000 mg/L además de su bajo pH (3 a 4) y a la temperatura que son descargadas (95 - 98°C) ocasionando que las características fisicoquímicas y biológicas naturales de los cuerpos de agua se modifiquen y disminuya en consecuencia su capacidad de autodepuración (5) (6).

El significado sanitario de la DBO es muy importante ya que entre más grande sea la carga orgánica desechada a un cuerpo de agua mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto, habrá una

baja en el oxígeno disuelto creando condiciones que van en detrimento de la vida acuática y otros usos benéficos.

*DBO: Es la cantidad de oxígeno requerida para que la flora bacteriana oxide la materia orgánica (8).

Para dar una idea de la gravedad del problema se esquematiza la producción tequilera de los últimos 8 años solamente en el Estado de Jalisco.

TABLA No. 1 PRODUCCION DE TEQUILA EN EL ESTADO DE JALISCO

Año	Producción tequila (L x 10 ⁶)	Vinaza (L x 10 ⁶)
1980	59	835
1981	47	671
1982	53	747
1983	62	875
1984	61	861
1985	52	741
1986	43	612
1987	56	787
1988	53	750

(9).

Una fábrica que produce 10 000 l. tequila al día arroja 90 000 L de vinaza diariamente que representan 1 800 - 2 700 kg. de sólidos al día. Y en el Estado de Jalisco existen 17 industrias tequileras que producen un volumen de 787 millones de litros de vinaza/año (1987) (2).

La atención que se le ha dado al problema de la vinaza busca eliminar o atenuar los efectos de la polución sobre los ríos de las regiones cañeras (3).

2 GENERALIDADES SOBRE LA VINAZA

Durante decenios se han realizado esfuerzos para tratar y aprovechar estas aguas de desecho, que se han traducido en numerosas patentes, sin embargo el número de procedimientos que obtuvieron verdadera importancia, es relativamente reducido. La exigencia mundial de eliminación o tratamiento de las llamadas aguas de desecho, perjudiciales para el medio ambiente, es válida especialmente en el caso de las aguas residuales en la industria de producción de la levadura y del alcohol.

La cantidad de vinaza producida hace considerar a los mostos residuales no utilizados en la actualidad, como una fuente preferente de materias primas para diferentes usos (10).

Para poder hacer consideraciones económicas es necesario conocer la composición del residuo.

La composición de la vinaza varía de acuerdo a las condiciones del proceso de elaboración de tequila como:

- Brix del mosto inicial
- Grado alcohólico alcanzado
- Eficiencia de la destilación, etc.

(6).

En base a su composición se utilizan como:

a) Reemplazo del abono químico en los campos cañeros: Ya que la vinaza de destilación de alcohol es de innegable riqueza orgánica.

La aplicación de la vinaza no solo debe buscar eliminar el problema de la polución, sino también aprovechar su alto valor fertilizante de un modo racional.

b) Concentración y empleo ya sea como abono y como combustible o alternativamente como componente de raciones para ganado.

c) Producción de levadura de forraje.

d) Producción de proteína unicelular por fermentación aeróbica.

e) Producción de combustible (biogas) por digestión anaeróbica.

Esta última ofrece grandes alternativas, donde los microorganismos estabilizan los desechos orgánicos para conversión de metano y bióxido de carbono (biogas) (6).

TABLA No 2 COMPOSICION QUIMICA DE LA VINAZA

Sus principales componentes son:

	(g/L)	
- Sólidos totales	44 - 106	
- Nitrógeno	0.6 - 10	
- Azúcares totales	9 - 18	
- Azúcares reductores	2 - 10	
- Cenizas	14 - 28	
- CaO	0.5 - 0.8	
- MgO	2 - 4	
- K ₂ O	6.4 - 7	
- P ₂ O ₅	1.4 - 3.2	
- Acidez volátil	0.21 - 0.37 %	
- Acidez no volátil	0.3 - 0.45 %	(11).

Considerando lo anterior; La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece que; todas las descargas de aguas residuales deberán satisfacer las normas técnicas

ecológicas con el fin de asegurar una calidad satisfactoria del agua y prevenir el deterioro ecológico en las principales cuencas hidrológica del país.

En base a esto los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de la destilería son los siguientes:

TABLA No 3 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LA VINAZA.

	promedio diario	instantáneo
pH (U.P)	4.5 - 10	6 - 9
DBO (mg/L)	200	240
sol. sedimentables (mg/L)	30	36
materia flotante	Ninguna que pueda ser detenida por malla de 3mm de claro libre cuadrado.	

(12).

3 DESARROLLO DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

La aplicación de procesos biológicos en el tratamiento de desechos orgánicos se remonta al siglo pasado, cuando sistemas rústicos como la fosa séptica comenzaron a ser utilizados para el control de la contaminación y de los riesgos sanitarios asociados.

Posteriormente, nuevos procesos fueron desarrollados sobre bases puramente empíricas; no es hasta mediados del presente siglo que las bases teóricas comenzaron a ser planteadas, al utilizarse los resultados de investigaciones sobre crecimiento bacteriano y fermentaciones. Hoy en día, el avance en el conocimiento de los fundamentos y en la aplicación de los procesos biotecnológicos para el tratamiento de residuos orgánicos es considerable (1).

Para esto hay diferentes sistemas de tratamiento con el objetivo principal de eliminar impurezas o sustancias extrañas al agua. El tipo de método de tratamiento a usar va a depender de la remoción del contaminante en el agua de desecho (13)(14).

3.1) FÍSICOS:

- a) Sedimentación: Tiene como objetivo la remoción de los sólidos suspendidos y sedimentables y la

disminución de la turbidez.

- b) Cribado: Consiste en hacer pasar el agua a través de una malla más o menos gruesa con el objetivo de impedir el paso de cualquier elemento sólido que se encuentre en suspensión.
- c) Filtración: Es el proceso de hacer pasar el agua a través de una materia granular para eliminar los sólidos en suspensión; debe garantizar la reducción de las bacterias y clarificación más óptima del agua (5) (15).

3.2) QUIMICOS:

- a) Coagulación: Consiste en agregar sustancias químicas que induzcan y aceleren la coalescencia y sedimentación.
- b) Neutralización: Su objetivo es lograr un equilibrio entre las condiciones iniciales de acidez y alcalinidad de un agua o una mezcla de aguas residuales.
- c) Desinfección: Tiene como objetivo principal la remoción de organismos patógenos, haciéndose comúnmente por cloración, ozonación, utilización de dióxido de cloro o la aplicación de luz ultravioleta (5) (14).

3.3) BIOLÓGICOS: Donde la materia orgánica contaminante es utilizada como alimento por los microorganismos presentes en tanques o reactores. De esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales.

La principal división entre los diversos procesos biológicos existentes para el tratamiento de aguas residuales se hacen en relación a la forma en que los microorganismos utilizan el oxígeno. Es así que se tienen los procesos, aerobios (requieren de oxígeno) y los anaerobios (no requieren de oxígeno). Esto se traduce en sistemas muy diferentes entre sí, como sus aplicaciones, su ingeniería y su control (1).

4 SISTEMAS BIOLÓGICOS AEROBIOS

La degradación de la materia orgánica, que ocurre en los ríos, lagos, lagunas, etc., es realizada por microorganismos que el agua contiene, pero éstos necesitan de oxígeno disuelto para efectuar el consumo de esta materia. Los tratamientos biológicos aerobios se basan en este proceso, se puede efectuar este tratamiento en reactores biológicos controlando la concentración de microorganismos y el suministro de una cantidad adecuada de aire con lo cual se logra alcanzar

una degradación de la materia orgánica más efectiva y en menos tiempo.

Dentro de los sistemas biológicos aerobios; están:

- a) Lagunas de oxidación
- b) Filtros biológicos
- c) Discos biológicos
- d) Lodos activados (14)(15).

Tradicionalmente, los efluentes industriales (con carga orgánica) y municipales se han tratado con sistemas biológicos del tipo aerobio.

De 10 años a la fecha los sistemas anaerobios se ha aplicado con grandes ventajas sobre los aerobios sobre todo en el tratamiento de efluentes con altas cargas orgánicas (1).

5 SISTEMAS BIOLÓGICOS ANAEROBIOS

Es el proceso que más se emplea en plantas de tratamiento donde la poca disposición de espacio, obliga a emplear unidades compactas como puede ser un tanque digestor (14).

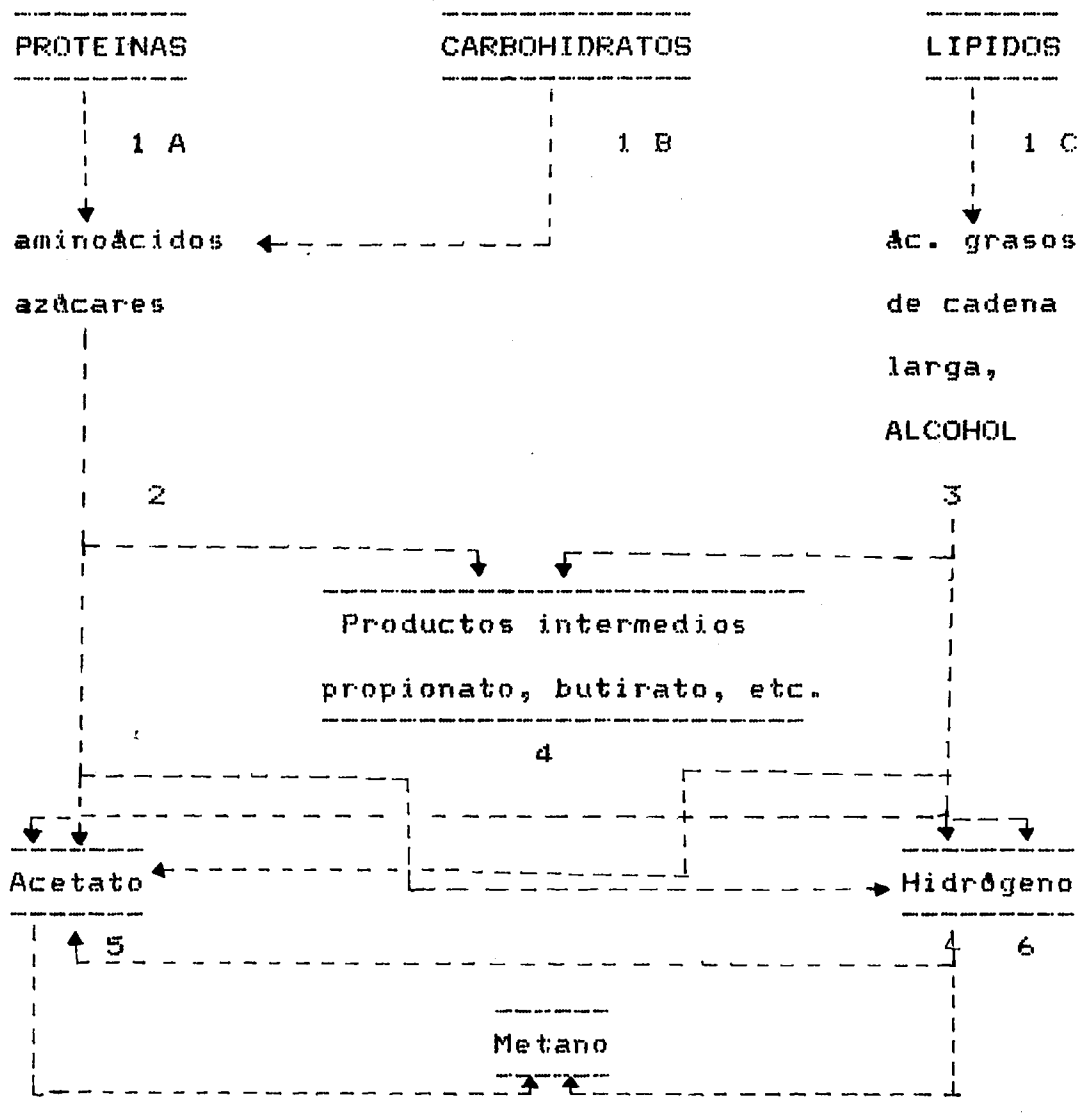
El mecanismo de la degradación de la materia orgánica por el proceso anaerobio se desarrolla en tres fases:

- 1.- Hidrólisis
- 2.- Acidificación
- 3.- Acetificación (16) (Esq.1)

La energía contenida en la materia orgánica contaminante utilizada por los microorganismos, medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO) o como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es transformada en diversos productos, dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula. Es así que una bacteria anaerobia utilizará el 10 % de la energía contenida en su alimento o sustrato para funciones de reproducción, dando origen a nuevas células, el 90 % restante lo dirigirá al gas metano.

Mientras tanto el proceso anaerobio es un productor neto de energía el proceso aerobio la consume. (1) (Esq. 2).

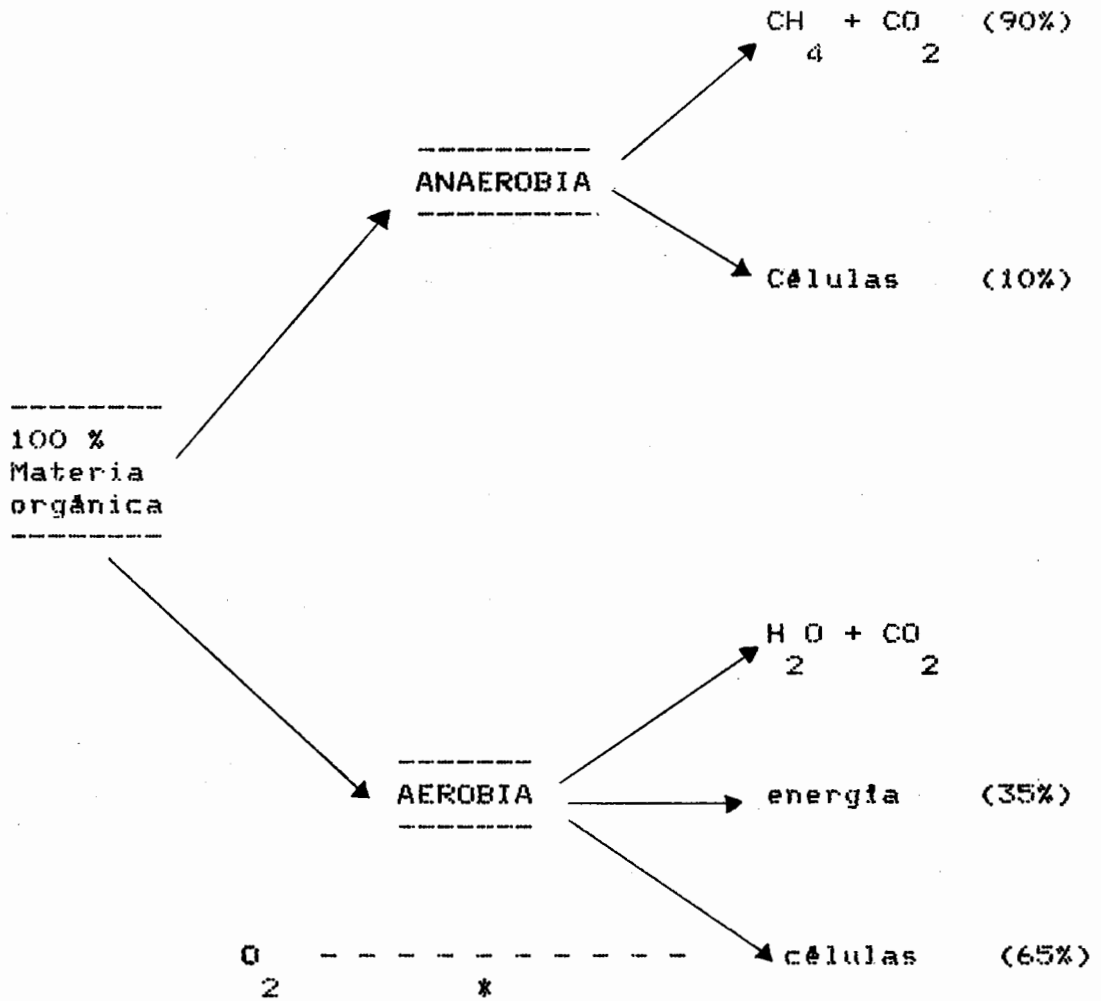
ESQUEMA No 1 METABOLISMO REALIZADO EN LA DEGRADACION ANAEROBIA



- 1.- Hidrólisis
- 2.- Fermentación
- 3.- Betaoxidación anaerobia
- 4.- Oxidación anaerobia
- 5.- Descarboxilación de acetato.
- 6.- Reducción de bióxido de carbono

(17).

ESQUEMA No 2 COMPARACION DE LA PRODUCCION DE ENERGIA ENTRE METABOLISMO AEROBIO Y ANAEROBIO.



* En caso de contar con digestión aerobia de lodos de purga (1).

Una particularidad de este tratamiento consiste en que los microorganismos anaerobios responsables de digerir la materia orgánica la convierten en -biogas- que es una mezcla de gases, cuyos principales componentes son metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2)

El metano es un gas combustible, incoloro, inodoro e insípido; su composición puede variar dependiendo de diversos factores que intervienen en el proceso de digestión tales como: T, pH, TRS (tiempo de residencia de sólidos), alcalinidad y tipo de desecho (18)(19).

TABLA No 4 COMPOSICION DEL BIOGAS

- Metano	54 - 70 %
- CO_2	27 - 45 %
- Nitrógeno	.5 - 3 %
- Hidrógeno	1 - 10 %
- Ac. sulfhídrico	<.1 - %
- Poder calorífico	5500 Kcal/ m ³

A pesar de que el Ac. sulfhídrico es el menor componente del biogas, sus efectos son importantes, posee un olor desagradable y aún en concentraciones bajas produce efectos fisiológicos adversos y es altamente corrosivo (19)(20)(21)(22).

6 DESARROLLO DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS

La evolución de la tecnología anaerobia ha dado lugar a 3 generaciones de reactores. La primera comprende aquellos procesos en donde la biomasa se encuentra en suspensión; y hay diferentes tipos entre los que se encuentran principalmente:

- a) Fosa séptica y tanque Imhoff.
- b) Lagunas anaerobias.
- c) Digestor anaerobio convencional.
- d) Digestor anaerobio completamente mezclado.

(1)(14)(fig. 1).

Segunda generación; donde los microorganismos son retenidos en el reactor, ya sea al suministrarles un soporte para que se adhieran en forma de biopelícula, o bien por medio de sedimentación de flóculos microbianos con muy buenas características de decantación. Dentro de estos tipos de reactores se encuentran:

- a) Filtro anaerobio.
- b) Reactor tubular de película fija.
- c) Reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB)

(Up - flow anaerobic sludge blanket) (1)(14)(23)(24)

(fig. 2).

Tercera generación: Tienen también los microorganismos en forma de biopelícula, pero el soporte se expande o fluidiza con altas velocidades de flujo. Estos reactores se encuentran básicamente aún en nivel piloto o semi-industrial (1).

Los reactores que más importancia han cobrado son los de segunda generación; particularmente el -filtro anaerobio- debido a que tiene mucho potencial de aplicaciones agrícolas en el tratamiento de desechos y en la producción de metano; además de que es adecuado para cargas orgánicas muy grandes (1)(25)(26)(27)(28).

En la actualidad se han aplicado en laboratorio y a escala real tratando una amplia serie de sustratos a diversas concentraciones.

Además de que se pueden construir estos equipos con muchas variaciones en las dimensiones.

La considerable ventaja del tratamiento anaerobio de efluentes, está en los bajos costos requeridos para su funcionamiento en comparación a otros sistemas de tratamiento (28).

TABLA No 5 ETAPAS DEL PROCESO DE UN FILTRO ANAEROBIO

Etapa	lugar donde se realiza.	acciones que ocurren.
Alimentación	Base del reactor	El agua a tratar se introduce por gravedad y/o por bombeo dependiendo del flujo.
Tratamiento biológico	En la biopelícula formada en el soporte.	Digestión de la materia orgánica y producción de biogas.
Captación del biogas	Parte superior del reactor (tapadera)	El gas es captado por un "colector" que está conectado por medio de una manguera al reactor.
Evacuación de agua tratada	Parte superior del reactor (costado)	El agua se descarga por medio de un tubo de p.v.c, en forma de "U" que va a vertirse en un recipiente que conduce el agua fuera del reactor.

(17)(27).

Los principales puntos de funcionamiento de un reactor son los siguientes:

- Control de la retención del sustrato para la obtención del grado de degradación deseada.
- Control de la temperatura (35 - 37°C) y pH (6.8 - 7.2)
- Alta concentración de biomasa a través de la inmovilización o recirculación de la biomasa.

Este último punto ha tenido un desarrollo importante, el cual tiene un gran significado para la obtención de un alto grado de degradación en tiempos cortos (13).

7 CARACTERISTICAS DE REACTORES ANAEROBIOS

- Reactores cerrados (digestión).
- Diseño horizontal o vertical.
- Alimentación continua, semicontinua o intermitente.
- Flujo ascendente o descendente.
- Elemento soporte de microorganismos (película biológica fija); agua en contacto con película preformada adherida a un soporte fijo (29).

8 ARRANQUE DE REACTORES

El primer arranque del reactor requerirá para la mayoría de los procesos un periodo de tiempo por encima de 3-4 semanas para lograr la capacidad del diseño de carga.

En todos los casos las aguas de desecho deben contener todos los ingredientes esenciales para el crecimiento en cantidades suficientes, mientras que concentraciones inhibitorias de compuestos tóxicos deberán estar ausentes.

Con respecto al modo de arranque son importantes los siguientes factores:

- Es necesario sembrar o inocular
- El volumen de carga del reactor no debe ser incrementado a menos que aproximadamente el 80 % de DBO biodegradable sea removido.
- Las temperaturas cercanas a 40°C son benéficas.
- Durante las fases iniciales de arranque el influente DBO, será mantenido abajo de aproximadamente 3,000 mg/L (30).

9 VENTAJAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO SOBRE EL AEROBIO

- Baja producción de lodos.
- No requiere aireación.

- Recuperación de metano.
- Se necesitan menores extensiones de terreno.
- Habilidad para transformar o bajar concentraciones de varios solventes peligrosos como: cloroformo, tridoetileno y tricloroetano.
- Un cierto grado de resistencia a productos tóxicos.
- Adaptación rápida a cambios en la alimentación despues de periodos prolongados sin alimento.
- Este proceso es un productor neto de energía.

(1) (31).

10 LIMITANTES DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS

- Formación de sulfuros que son tóxicos y de olor desagradable.
- Las bacterias anaerobias (metanogénicas) son susceptibles a un gran número de compuestos tóxicos.
- Se requiere inocular.
- Largo periodo de activación del lodo (el primer arranque del proceso es lento).
- Los efluentes tratados por vía anaerobia pueden requerir un postratamiento.
- Existe poca experiencia práctica en sistemas de gran capacidad (1) (31).

III.- OBJETIVOS

1. En base a revisión bibliográfica, seleccionar un reactor anaerobio y construirlo en el laboratorio.
2. Posteriormente probar su eficiencia para disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), con un efluente industrial altamente contaminante como son las vinazas tequileras.

IV.- HIPOTESIS

Por medio de la digestión anaerobia la materia orgánica de vinazas se transforma a productos como: metano, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, amonio y agua.

Por lo que una vez salida la vinaza del digestor deberá tener una carga orgánica menor (disminuida de un 60 a 80 %).

V.- JUSTIFICACION

El Estado de Jalisco es el primer productor de tequila en el Pais, cuenta con 17 plantas tequileras que producen 780 millones de litros de vinaza por año, aproximadamente.

Debido a esto, se pretende eliminar o atenuar los efectos que produce este desecho (que es altamente consumidor de oxigeno) en los cuerpos acuíferos donde es descargada.

La digestión anaerobia presenta una buena alternativa para el tratamiento de desechos residuales industriales.

VI.- MATERIALES Y METODOS

MATERIALES

- 1- La vinaza que se utilizó fué de una empresa productora de tequila. Se muestreaba cada 22 ó 30 días, lotes de 100 - 200 L.
- 2- El estiércol procedió de un establo de cabezas de ganado lechero; ubicado cerca de la Cd. de Guadalajara y sirvió como inóculo para el digester.
- 3- El empaque que se utilizó fueron hojuelas de hielo seco cada una media 2.5 x 2 cm, con un grosor de 0.5 centímetros.

REACTIVOS

Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico y obtenidos de fuentes comerciales conocidas.

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el CaCO_3 , para neutralizar la vinaza fueron grado farmacéutico.

EQUIPO

a) Aparatos:

- | | | |
|----------------------|---|---------------|
| - Balanza analítica | Chyo Jupiter | SDT-200 |
| - Potenciómetro | Corning pH 103 | |
| - Estufa incubadora | Felisa | |
| - Mufia | Thermoline 1500 furnace | (0'- 1200'C). |
| - Bomba peristáltica | Cole palmer (cabezal modelo 7015), controlador de flujo Masterflex. | |
| - Baño de agua | Construido en CIATEJ | |
| - Infrarrojo | Perkin-Elmer mod.559 A | |
| - Bomba de vacío | Felisa Mod. 1400 | |

b) Material de laboratorios:

- Bureta
- Termómetro de mercurio
- Termómetro bimetalico
- Desecador
- Charolas de aluminio

Además de esto se necesitaron:

- Un tanque cilindrico de plástico de 100 L de capacidad (tanque digester), con tapa de cierre hermético.

- Un tanque cilíndrico de plástico con tapa, de 30 L de capacidad para neutralizar la vinaza.
- Un tanque de plástico para medir gas.
- Tubería de p.v.c de media pulgada de diámetro.
- Accesorios y conexiones para tubería de p.v.c de media pulgada de diámetro.
- Lámina de acero inoxidable.
- Serpentin de cobre de 1/8 de pulgada de diámetro.
- Fibra de vidrio (aislante).
- Pegamento tangit para p.v.c
- 1 tina de plástico de 40 L de capacidad.
- 1 base de madera de 1.5 cm. de espesor, y de 60 cm. de diámetro.
- 1 base de acrílico de .4 cm de espesor, de 60 cm. de diámetro.

Para el sistema de colección de gas se necesitó:

- 1 regulador de flujo (bomba peristáltica).
- 1 Probeta graduada de 2 L de capacidad.
- 1 trozo de manguera.
- 1 tina de plástico de 5 L de capacidad.

METODOLOGIA

El reactor se inoculó con estiércol de bovino al 20 % de su capacidad que se preparó; diluyendo una parte de estiércol con 3 de agua.

Después se filtró con una malla 10 (USA) para retirar partículas gruesas. Una vez filtrado se le ajustó el pH (a 7) con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 30 % y a temperatura ambiente se vació al reactor.

Con el inóculo ya en el reactor, se le agregó la vinaza (con pH ajustado), hasta completar los 100 L.

Una vez adaptado el inóculo con la vinaza (aproximadamente 10 días) cuando se tuvo producción constante de gas, se trabajó con diferentes variables:

- | a) carga orgánica (DBO mg/L) | b) tiempo de residencia |
|------------------------------|-------------------------|
| 1- 10 000 mg/L | 1- 5 días |
| 2- 10 000 mg/L | 2- 2.5 días |
| 3- 10 000 mg/L | 3- 1.5 días |
| 4- 10 000 mg/L | 4- 0.625 día |

Una vez cargado el reactor y adaptado a cada tiempo de residencia se estuvo muestreando cada 12 hrs. Las muestras se tomaron en frascos limpios y etiquetados; al mismo tiempo se le medía pH y temperatura. Posteriormente se hacían las pruebas fisicoquímicas a cada muestra.

En cada muestreo se medía el volúmen de gas desplazado en una columna de agua.

Solamente a las muestras iniciales y finales de los diferentes tiempos de residencia y carga orgánica se les determinó:

- Grasas y aceites (determinadas en otro laboratorio)
- Sólidos suspendidos fracciones volátil y fija
- Acidez

Y a las demás muestras se les determinó:

- DBO
- Sólidos totales
- pH
- Temperatura
- Diariamente se monitoreo la producción de gas

En base a las siguientes técnicas:

TECNICA	METODO
- DBO (mg/L)	Método químico de Winkler modificación acida de sodio.
- Sólidos sedimentables (ml/L)	Método directo cono de Imhoff.
- pH (U.P)	Método potenciométrico
- Temperatura (°C)	Termómetro de mercurio.

- Sólidos totales (gr/L)	Método gravimétrico estandarizado.
- Sólidos suspendidos fracción fija y volátil (%)	Método gravimétrico estandarizado.
- Acidez (ppm)	Método potenciométrico.
- Alcalinidad (ppm)	Método potenciométrico.
- Grasas y aceites (mg/L)	Método químico de Roos Gotieb (modificado).
- Identificación de metano	Espectroscopía infrarroja.

(32).

TECNICAS

1) DBO:

Se basa en la medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo de tiempo específico.

Los reactivos utilizados son:

a) nutrientes:

1- solución fosfato amortiguadora	8.5 g/L	KH ₂ PO ₄
2- solución sulfato de magnesio	22.5 g/L	MgSO ₄ · 7 agua.
3- solución cloruro de calcio	27.5 g/L	CaCl ₂

4- solución cloruro férrico .25g/L FeCl_3
 hexahidratado.

b) Reactivos:

1- solución sulfato manganoso 364 g/L MnSO_4

2- solución alcali-yoduro 70 g/100 ml KOH
 15 g/100 ml KI
 1 g/100 ml NaN₃

c) Preparación:

Diluir en poca agua el KI, hay reacción endotérmica, por eso es la primera que se pasa al matraz aforado de 100 ml. La potasa se diluye en poca agua, como sucede una reacción exotérmica, al vaciarla al matraz se cristaliza de nuevo el KI seguir mezclando hasta que se enfríe y aforar luego.

3- Acido sulfúrico al 50 % (v/v).

4- Almidón: 2 g. de almidón soluble grado laboratorio y 0.2 g de ácido salicílico como preservativo en 100 ml de agua destilada y caliente.

5- Solución tiosulfato de sodio: disolver en agua recién hervida $24.8 \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Se tiene que titular para saber la normalidad.

- Procedimiento-

- Se pone agua desionizada (la necesaria) a airear por 4 hr aproximadamente.

- El inóculo (24 g tierra/100 ml de agua), se incuba 4 hr. a 37°C aproximadamente.
- Después, se le agrega al agua ya aireada, 1 ml se cada una de las soluciones nutrientes, por cada litro de agua y del inóculo de tierra 20 ml.
- Con el agua de inóculo se llenan las botellas para DBO (50 ml c/u); por duplicado, hasta derrame. Que ya tendrán la muestra a analizar.
- Utilizar un blanco (solo con agua de inóculo, sin muestra).
- Agregar a las botellas que no se van a incubar 5 días (las otras se incuban en la oscuridad a 20 °C). 5 gota de sulfato manganoso y 5 de Alkali-yoduro.
- Esperar a que precipite y agitar.
- Agregar 10 gotas de Ácido sulfúrico al 50 % tapar y esperar a que precipite; sin agitar.
- Poner 10 ml de muestra en una probeta.
- Agregar 2 gotas de almidón y titular con tiosulfato, hasta el vire.
- * Se hace lo mismo con las botellas que se incuban, pero hasta los 5 días.
- sacar resultados por medio de la fórmula:

$$\text{ppm O}_2 = \frac{\text{vol. gastado de tiosulfato} \times \text{Normalidad de tiosulfato} \times \text{meq de O}_2}{2} \times \frac{2}{10 \text{ ml (muestra)}}$$

$$DBO = \frac{(\text{oxígeno-inicial}) - (\text{oxígeno-final})}{5} \times \frac{\text{muestra}}{\text{muestra}} \times \text{dilución de la muestra.}$$

2) pH

Fue determinado directamente con potenciómetro.

-Procedimiento-

Enjuagar varias veces el electròdo con agua destilada, calibrar con las soluciones buffer volver a enjuagar, introducir el electròdo a la muestra esperar a obtener un valor fijo.

3) SOLIDOS VOLATILES

Este tipo de sòlidos en los residuos se determinan por ignición de la muestra a 550°C + - 50°C. La determinación es òtil, en el control de tratamientos de agua (planta de operaciòn), debido a que ofrece un peso aproximativo de la cantidad de materia orgànica presente en la fracciòn sòlida del agua tratada y aguas industriales.

4) SOLIDOS FIJOS

-Procedimiento-

Se determinan por ignición por el método a peso

constante en una mufla a 550°C ± 50°C. El peso constante se toma, cuando en dos pesadas sucesivas no hay una diferencia mayor del 4 %. Cuando los crisoles estan a temperatura ambiente, se coloca la muestra a analizar. Luego se pasan a la mufla 15 - 20 min.; despues de que están a temperatura media se transfieren a un desecador los crisoles para que se enfrien a temperatura ambiente.

Reportar la pérdida de peso por ignición como sólidos volátiles totales, y el residuo pesado como sólidos fijos totales.

-cálculos-

$$\text{mg. sól. vol.} = \frac{(A - B)(1000)}{\text{ml. de muestra}}$$

$$\text{mg. sól. fijos} = \frac{(B - C)(1000)}{\text{ml. de muestra}}$$

Donde:

A= peso del residuo + cápsula, antes de ignición mg.

B= peso del residuo + cápsula, despues de ignición mg.

C= peso de la cápsula.

5) SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES

-Procedimiento-

Se pone el número necesario de crisoles Gooch de acuerdo a la cantidad de muestras que se van a analizar (por duplicado), con un papel filtro a peso constante. Se filtran 10 ml de la muestra con vacío, se ponen en una estufa a 100°C durante 30 min.; se dejan en el desecador 2 hrs. y se pesan. Transcurrido el tiempo se meten por 30 min. a la mufla a 500°C, se pasa a la estufa 30 min. y se deja en el desecador 2 hrs. para posteriormente pesar.

-Cálculos-

$$P_1 - P_2 = \frac{\text{sól.suspendidos volátiles (1000)}}{\text{ml. de muestra}}$$

$$= \text{mg/L de sólidos}$$

Donde:

P_1 = sólidos suspendidos totales

P_2 = sólidos suspendidos fijos

6) SÓLIDOS TOTALES

-Procedimiento-

- Introducir a la estufa charolas de aluminio durante 24 hrs. a 80°C.
- Poner las charolas en un desecador, hasta que se

- enfrien y pesar.
- Repetir hasta obtener peso constante en las charolas.
 - Agitar vigorosamente la muestra y medir un volúmen determinado en una pipeta (tener cuidado de mantener los sólidos en suspensión mientras se mide).
 - Transferir la muestra a la charola, enjuagar la pipeta varias veces con pequeñas cantidades de agua destilada y agregar el agua de enjuague a la charola de aluminio.
 - Evaporar la muestra, secarla por 24 hrs. a 80°C.
 - Enfriar en desecador y pesar.

-Cálculos-

$$\text{ppm sól. totales} = \frac{\text{diferencia en peso (1000)}}{\text{ml. de muestra.}}$$

7) ACIDEZ Y ALCALINIDAD

Método potenciométricos: Se basa en medir la diferencia de potencial en forma de pH.

La acidez y alcalinidad está dada por los iones CO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- , H^+ etc..

-Reactivos-

- solución valorada de NaOH: pesar 0.8 gr de NaOH químicamente puro. Diluir y aforar a 1 L, valorar la solución con biftalato de potasio químicamente puro desecado 0.1 gr., los cálculos se hacen por $V_1N_1 = V_2N_2$.

$$N = A = 0.1 \text{ g.}$$

$$\frac{\text{---}}{\text{VE}} = 1 \text{ ml. NaOH} = 1 \text{ mg. CaCO}_3$$

$$\text{VE} = (204.2) (25 \text{ ml})$$

- solución valorada de H_2SO_4 : tomar 0.53 ml de ac. sulfúrico concentrado diluir y aforar a 1 L. Valorar con NaOH y utilizar como indicador fenoftaleína.

$$\text{Cálculos: } V_1N_1 = V_2N_2 = 1 \text{ ml H}_2\text{SO}_4 = 1 \text{ mg CaCO}_3$$

- fenoftaleína: disolver en 100 ml de alcohol etílico al 95 % 0.1 g de fenoftaleína.

--Procedimiento--

Nota: La muestra debe recolectarse en frascos de vidrio o de polietileno. Analizar inmediatamente después de su toma; en caso contrario conservar en refrigeración a 4°C máximo 24 hrs.

Transferir 50 ml de muestra a un vaso de precipitado, calibrar el potenciómetro con las soluciones buffer de pH=4 y pH=7, sumergir los electrodos y tomar el pH.

a- valorar con NaOH hasta 8.3, y tomar lectura.

b- bajar el pH hasta 4.5 con H_2SO_4 . Tomar lectura.

c- eliminar la lectura entre el pH inicial al 8.3, según el caso.

-Cálculos-

$$\text{ppm CaCO}_3 = \frac{(\text{ml. } H_2SO_4)(\text{Normalidad de } H_2SO_4)(\text{Eq.})(1000)}{\text{gastado}} \\ \text{ml. de muestra.} \\ = \text{alcalinidad}$$

$$\text{ppm CaCO}_3 = \frac{(\text{ml. NaOH})(\text{Normalidad de NaOH})(\text{Eq.})(1000)}{\text{gastado}} \\ \text{ml. de muestra.} \\ = \text{acidez}$$

8) GRASAS Y ACEITES

Se hidrolizan las grasas por acidificación. Las grasas sólidas y viscosas y los aceites presentes se separan de la muestra líquida por filtración. Luego el residuo remanente es pesado después de la evaporación para determinar el contenido de grasa y aceites en la muestra.

-Reactivo-

- Eter etílico, químicamente puro grado reactivo.

-Procedimiento-

- En un vaso de precipitado de 250 ml. colocar 150 ml exactos de la muestra.
- Adicionar 20 ml. de éter etílico
- Agitar con varilla de vidrio 2 min.
- Con la micropipeta extraer la capa superior (repetir varias veces).
- Poner el éter etílico extraído en un vaso de aluminio previamente tarado (peso constante), y dejar que se evapore y pesar nuevamente.

-Cálculos-

$$\frac{\text{peso final} - \text{peso inicial (1000)}}{\text{50}} = \text{mg/L}$$

50

9) METANO

Fue identificado cualitativamente por el método de Espectroscopia Infrarrojo; y por Cromatografía de gases cuantitativamente.

- Muestreo de biogas-

Se muestreo al final de cada experimento la muestra se tomó directamente de la salida de la tubería del gas

al muestreador del Infrarrojo. Este procedimiento solo se hizo para los 2 primeros experimentos (exp. 1 y 2).

Para los otros 2 experimentos (exp. 3 y 4), se muestreo en globos de aluminio directamente de la salida de la tubería, para mandarse a analizar cuantitativamente a otro Centro.

En base a los objetivos planteados, la metodología para la construcción del reactor fue la siguiente:

A SELECCION DEL REACTOR

Se seleccionó un reactor de tipo anaerobio por razones técnicas y económicas; ya que en la actualidad se están aplicando a nivel laboratorio y a escala industrial tratando una amplia serie de sustratos a diversas concentraciones.

Además de que se pueden construir éstos equipos con muchas variaciones en el diseño, teniéndose como más comunes las formas cilíndricas y verticales.

La considerable ventaja del tratamiento anaerobio de efluentes, está en los bajos costos requeridos para su funcionamiento en comparación a otros sistemas de tratamiento, así como su elevada remoción de carga orgánica.

De los tipos de reactores anaerobios estudiados se eligió el de FILTRO ANAEROBIO; porque, presentaba varias ventajas como son:

- resistencia a bajos valores de pH
- rápida aclimatación a diferentes sustratos
- alta resistencia a variaciones del efluente
- operación sencilla
- alta remoción de DBO

Además de sus características de operación (que son más sencillas).

- es capaz de producir TRS (tiempo de residencia de sólidos).
- es posible tratar efluentes de carga media y baja de desechos industriales con materia orgánica soluble.
- el proceso es estable aún cuando opera con una amplia variación de flujos y cargas transientes e intermitentes.

Una vez seleccionado el reactor se procedió a su construcción. Para ello se utilizó material económico y de fácil disponibilidad descrito en la bibliografía.

B CONDICIONES DE DISEÑO

En base al diseño del reactor se requieren 2 bases cilíndricas dentro del reactor para que tuvieran fijo el

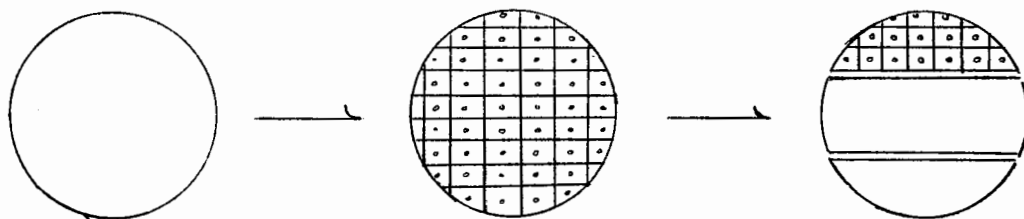
empaque. Tambien se requirió hacer las conecciones de alimentaci3n y salida del efluente; como el sistema iba a funcionar a 30 ± 5 °C el medio de calentamiento elegido fué un serpentín de cobre para circulaci3n de agua caliente dentro del reactor, para no perder calor el sistema requirió aislamiento y se utilizó fibra de vidrio cubierto con lámina de acero inoxidable.

Para regular el flujo, ya que se probaron diferentes tiempos de residencia fué necesario conectar la alimentaci3n a una bomba peristáltica de flujo regulable.

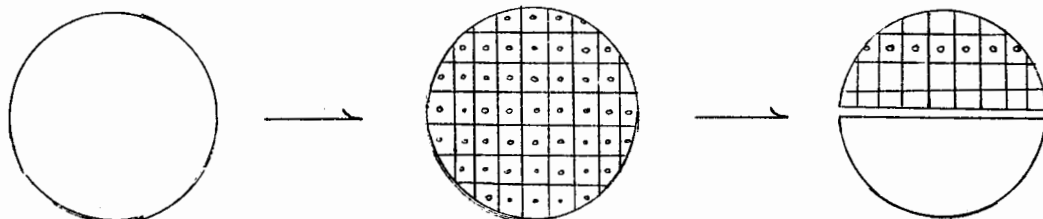
C CONSTRUCCION DEL REACTOR

Una vez seleccionado el reactor se procedió a su construcci3n de la manera siguiente:

Se cortó la base de madera, circular al tamaño requerido y se le hicieron perforaciones equidistantes de 5 cm. en toda la superficie, la base se cortó longitudinalmente en 3 secciones para poder acomodarla dentro del tanque y para que se pudiera desarmar facilmente.



La base de acrílico también se cortó al tamaño requerido y se le hicieron perforaciones equidistantes y se partió por la mitad para poder armarlo dentro del tanque.



Se colocó la base de madera a 8 cm. de distancia del fondo del tanque sobre un fondo falso, también de madera y poliuretano.

Posteriormente se colocó el empaque de unicel, se puso un total de 708.6 g de empaque, que ocuparon un volumen de 40.1 L. Entre el empaque se colocó un serpentín de cobre (por el que se hacía circular agua caliente, calentada en baño de agua) para calentamiento y mantener así la temperatura de trabajo de 30 - 32 °C.

En la parte superior del empaque se colocó la base de acrílico quedando un espacio vacío entre ésta base y la tapa. Posteriormente se puso la tapa de cierre hermético.

Previamente al tanque se le habían hecho conexiones de entrada y salida de flujos, así como las conexiones al tanque neutralizador y para medir el

flujo de biogas se conectó una tubería que salía del centro de la tapa a una manguera que se pasaba a un tanque graduado lleno de agua, donde el gas desplazaba el líquido. fig. 3

D ARRANQUE DEL REACTOR

Una vez construido el reactor se preparó el inóculo de la siguiente manera:

Se muestrearon 12 L de estiércol de bovino (15 kg.) en un establo.

El estiércol se diluyó con agua en una relación 1:4, esta mezcla se filtró por una malla de nylon 30 donde se retuvieron principalmente residuos gruesos de grano, fibra, piedras y otras impurezas.

El licor filtrado (37 L) se neutralizó con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a un pH de 7 y se vació al reactor. Se mantuvo en condiciones anaerobias hasta que empezó la producción de biogas.

A los 6 días de tener el estiércol en el reactor se adicionó vinaza diluida con agua desionizada (50 % v.v) y se neutralizó con bicarbonato de sodio en polvo grado farmacéutico. Se agregaron 1 parte de volumen de vinaza para tener una relación 1:10 vinaza-estiércol (4.1 L de vinaza), esta alimentación se realizó cada

tercer día, hasta que se llenó el tanque y se mantuvo en estado de lote alimentado por 10 días; después se siguió alimentando vinaza con lo que se fue desalojando lentamente el exceso de estiércol; quedando una relación de 20 % de estiércol y 60 % de vinaza.

A partir de entonces se agregaron 5 L de vinaza diluida cada 48 horas por 4 días. Durante éstos primeros 20 días únicamente se tuvo control de la producción de biogas, (que no se suspendiera), y se hicieron pruebas cualitativas a la flama y todavía no había combustión.

Se aumentó la cantidad de vinaza a 5 L de alimentación diarios durante 10 días, a la mitad de ésta etapa el gas fue combustible, observándose una flama tenue, azul claro típica del metano. La combustión se inició a los 25 días de cargado el reactor.

E CONDICIONES EXPERIMENTALES

Cuando se observó que el volumen de gas producido fue constante se decidió dar inicio a los experimentos planteados.

Para tener un TRH de 5 días se alimentaron al reactor 10 L de vinaza diarios durante 8.5 días (exp.1); una vez realizado este TRH, se duplicó la alimentación a

20 L por día para tener un TRH de 2.5 días (exp.2); así estuvo operando durante 9.5 días más.

A los 40 días de cargado el reactor se aumentó la cantidad de vinaza alimentada a 40 L por día teniendo un TRH de 1.25 días (exp.3), con este tiempo se mantuvo durante 7 días.

Tomando en cuenta el volúmen de trabajo útil del reactor (50 L); a los 47 días se cambió a un TRH de .625 días (exp.4) alimentándole al reactor 80 L de vinaza diarios durante 6.5 días.

Cada cambio en el TRH se hacía cuando ya había una producción de gas constante y una eficiencia de remoción de DBO mayor al 60 % de la inicial.

VII.- RESULTADOS

El diseño experimental en el laboratorio consistió en el desempeño de 4 experimentos, los cuales variaban en el TRH como se muestra en la tabla No. 6

TABLA No 6 CONDICIONES DE EXPERIMENTACION DURANTE LA EVALUACION DEL DIGESTOR ANAEROBIO

Exp.	carga orgánica inicial (ppm)	TRH (día)	T (°C)	pH (U.P)	tiempo exp. (días)	vol. de vinaza alimentada/día (L)
1	10 000	5	32'	7	8.5	10
2	10 000	2.5	32'	7	7.5	20
3	10 000	1.2	32'	7	7	40
4	10 000	0.62	32'	7	6.5	80

TABLA No 7 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EXPERIMENTO 1
CON UN TRH DE 5 DIAS.

T (°C)	32
Sol. totales (%)	16.33
Sol. volátiles totales (g/L)	0.237
Sol. suspendidos fijos (g/L)	0.042
Acidez (g/L)	1.57
Alcalinidad (g/L)	8.779
Ef. de remoción de DBO (%)	61.04
Rendimiento máx. de produc. de biogas (L)	117.0

EXPERIMENTO No. 1

Durante éste experimento que duró 8.5 días a un TRH de 5 días, el pH siempre estuvo arriba de 7, los primeros días varió, pero después de 84 hrs. se mantuvo estable.

La acidez no fué estable al principio, pero después se estableció entre 2 y 3 gr/L . La alcalinidad siempre tendió a subir tal vez por el amortiguador usado (bicarbonato de sodio que tiene alta capacidad como buffer); como se puede ver en la fig. 4.

La disminución de la DBO y la producción de biogas

son inversamente proporcionales, ya que al ir bajando la DBO la producción de biogas aumentaba; esto se presenta en la fig. 5

Haciendo comparación del biogas y acidez, también son inversamente proporcionales, porque al aumentar la acidez, disminuye la producción del biogas, esto se muestra en la fig. 6

Durante esta etapa hubo una rápida aclimatación del sustrato a este tiempo de residencia, que todavía es alto; hubo un buen funcionamiento del reactor ya que el pH estuvo constante; había una ligera alcalinidad y la acidez que no es recomendable para el proceso fue disminuyendo.

TABLA No 8 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EXPERIMENTO 2
CON UN TRH DE 2.5 DIAS.

T (°C)	32
Sol. totales (%)	16.23
Sol. volátiles totales (%)	0.379
Sol. suspendidos fijos (%)	0.029
Acidez (g/L)	2.69
Alcalinidad (g/L)	8.588
Ef. de remoción de DBO (%)	71.18
Rendimiento máx. de produc. de biogas (L)	126.0

EXPERIMENTO No. 2

Durante los 8 días que duró este experimento el pH no varió, en cambio la acidez estuvo muy variable, por lo que la alcalinidad tendió a subir durante las primeras 48 hrs., pero después fue bajando hasta que logró mantenerse estable, de las 108 hrs. en adelante. fig. 7

La DBO disminuyó considerablemente por lo que la producción de biogas aumentó aunque al principio varió, después fue aumentando considerablemente. fig. 8

El comportamiento de la acidez en este experimento

fué disminuyendo, y consecuentemente la producción del biogas aumentó, fig. 9

Al disminuir el TRH y aumentar la cantidad del sustrato alimentado, el digester muestra un desequilibrio al inicio, ya que los microorganismos tardan un poco en adaptarse al cambio de flujo, esta adaptación tardó como 4 - 5 días y después tendió a normalizarse.

En éstos experimentos (1 y 2) la producción del biogas fué similar, pero siempre varió tendiendo a aumentar como se muestra en la fig. 10

La DBO en ambos experimentos disminuyó, pero en el exp. 2 fué considerable la disminución, y con éste TRH fué con el que se alcanzó la máxima remoción; como se puede comprobar en la fig. 11

TABLA No 9 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EXPERIMENTO 3
CON UN TRH DE 1.25 DIAS.

T (°C)	32
Sol. totales (g/L)	13.19
Sol. volátiles totales (g/L)	0.316
Sol. suspendidos fijos (g/L)	0.0165
Acidez (g/L)	3.06
Alcalinidad (g/L)	6.281
Ef. de remoción de DBO (%)	61.1
Rendimiento máx. de producc. de biogas (L)	190.0

EXPERIMENTO No. 3

En la experimentación de este TRH (1.25 días); el pH durante las primeras 60 hrs. estuvo ligeramente arriba de 7 después se mantuvo estable.

La acidez nunca fue estable, pero la alcalinidad fue aumentando ligeramente siempre, como se puede observar en la fig. 12

La disminución de la DBO fue similar a la del exp. 1, pero la producción de biogas fue la máxima con este TRH comparado con los experimentos anteriores como se muestra en la fig. 13

La acidez, es determinante para la producción de biogas, ya que al aumentar disminuye el rendimiento de producción; esto se puede comprobar en la fig. 14

Este TRH fué el mejor de todos para el rendimiento en la producción del biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 10, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 15, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 20, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 25, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 30, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 35, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 40, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 45, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 50, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 55, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 60, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 65, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 70, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 75, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 80, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 85, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 90, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 95, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

En el TRH 100, se observó un aumento en la producción de biogas, ya que se llegó a obtener hasta 190 L por día; y la remoción de DBO también fué buena (61 %).

TABLA No 10 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EXPERIMENTO 4
CON UN TRH DE 0.625 DIAS

T (°C)	32
Sol. totales (%)	16.68
Sol. volátiles totales (g/L)	0.489
Sol. suspendidos fijos (g/L)	0.01
Acidez (g/L)	2.709
Alcalinidad (g/L)	6.615
Ef. de remoción de DBO (%)	61.0
Rendimiento máx. de producc. de biogas (L)	160.0

EXPERIMENTO No. 4

6.5 días fué lo que se trabajó con el TRH de 0.625 días, en el cual el pH no varió tanto, manteniéndose siempre ligeramente arriba de 7; sin embargo la acidez disminuyó en los últimos días por lo que la alcalinidad aumentó significativamente, como se observa en la fig. 15.

El rendimiento en la producción del biogas fué muy bueno similar al experimento anterior (No. 3), por lo que la disminución de la DBO también fué considerable; ésto se observa en la fig. 16.

La producción de biogas fué siempre ascendente, por lo que la acidez tendió a bajar considerablemente, como se puede comprobar en la fig. 17

En éstos dos últimos experimentos (exp. 3 y 4), la producción máxima de biogas fué en el exp. No. 3 con un TRH de 1.15 días, aunque en el exp. 4 también fué buena; como se observa en la fig. 18

La eficiencia en la remoción de la DBO fué igual para éstos 2 experimentos, esto se puede comprobar en la fig. 19

TABLA No 11 PORCENTAJE DE METANO EN EL BIOGAS EN LOS EXPERIMENTOS 3 Y 4

EXP.	TRH	N 2	CH 4	CO	CO 2	NO 2
3	1.25	10.52	25.08	1.90	62.48	N.D
		10.25	27.82	N.D	61.93	N.D
4	0.625	15.85	36.28	N.D	47.87	N.D
		16.78	47.60	N.D	35.62	N.D

ND= no detectado.

Nota: Los experimentos 1 y 2 solo se le hicieron análisis cualitativos del biogas; como se muestra en las fig. 19 y 20.

**TABLA No 12 DATOS DE RENDIMIENTO EN EL FILTRO ANAEROBIO
EN 4 EXPERIMENTOS A DIFERENTES TRH**

EXP	TRH	Ef. de remoción de DBO %	Rendimiento máx. de pro ducc. de -- biogas.	Vg/Vr día
1	5	61.04	117	2.34
2	2.5	71.18	126	2.52
3	1.25	61	190	3.8
4	0.625	61	160	3.2

Donde:

Vg = volúmen de gas

Vr = volúmen de reactor

TRH = tiempo de residencia hidráulica

VIII.- DISCUSIONES

El digester fué diseñado y construido sin presentarse ningún problema, ya que el tanque cumplía con los requerimientos necesarios de hermeticidad, tamaño, forma, etc.

El empaque usado presentó una buena adherencia de microorganismos, aunque no se midió en cuanto tiempo se formó la biopelícula ni el espesor de la misma, lo que podría ser base para otro estudio, comparándolo con otros materiales económicos que existen en la región.

Durante el arranque del reactor, que duró 25 días fué un tiempo adecuado ya que concuerda con Nordstad, que tardó 30 días para un reactor de 13 L a nivel laboratorio usando la misma cantidad de inóculo (20 % del volúmen del reactor).

En la operación y manejo del reactor; se presentaron algunos problemas al inicio de la experimentación, entre los cuales se tienen los siguientes:

- Taponamiento de sólidos a la salida del tanque neutralizador, lo que se solucionó haciendo pasar la vinaza previamente por una tela de tamiz cerrado, para la retención de partículas gruesas.

- Fugas de gas en las aberturas que se le hicieron al

tanque para entrada de tubería de agua de calentamiento, por lo que requirió capas gruesas de sellador.

- El líquido rebosaba por la salida del gas por lo que se instaló una trampa de líquido en la salida lateral.

- Al principio no se pudo mantener la temperatura constante, por lo que se usó un serpentín de cobre dentro del reactor para poder mantener la temperatura entre 30 - 32 °C.

- Fue necesario adicionar bicarbonato de sodio como amortiguador, para mantener el pH en el sistema.

El sustrato tuvo una remoción elevada de la carga, porque el reactor presentó una buena eficiencia, ya que el 71 % obtenido fue ligeramente menor al reportado por Nordstad y Col. pero con un sustrato menos contaminante.

La producción de biogas también fue menor que la reportada de 80 % de metano, y lo que se obtuvo en el filtro anaerobio fue del 50 % de metano; que se pudo haber debido al uso de diferente sustrato.

Durante la etapa de la experimentación, que duró 37 días, a partir de cuando empezó la producción de gas, todo el funcionamiento fue normal.

En el exp. 1 se obtuvo buena remoción de DBO, pero el TRH fue muy largo 5 días (y un tiempo tan largo no es recomendable para uso a nivel industrial y se requiere de mayor número de reactores o reactores de

mayor tamaño); el rendimiento del gas también fue bueno.

En el exp. 2 fue donde se presentó la máxima remoción de DBO y hubo un buen rendimiento en la producción del biogas, pero no fue la máxima cantidad producida.

En el exp. 3 y 4 la remoción de DBO fue igual que en el exp. 1, aunque la producción de biogas en el exp. 3 fue mayor que en todos los otros experimentos.

En general durante toda la experimentación, el pH se mantuvo constante (entre 7 y 8), lo cual nos indicó que el reactor estuvo trabajando adecuadamente. Según referencias bibliográficas un funcionamiento adecuado de los reactores se tiene cuando hay condiciones ligeramente alcalinas, como las que se tuvieron durante la experimentación.

Comparado con lo que nos reporta van den Berg, el TRH óptimo de 2 a 3 días fue positivo, porque el TRH para el filtro anaerobio que presentó mejor remoción de DBO fue de 2.5 días.

Como el objetivo principal de la investigación fue la remoción de la carga orgánica de las vinazas (DBO), en base a los resultados obtenidos, el tiempo más recomendable fue el de 2.5 días, sin embargo para economía del proceso sería bueno considerar el uso del gas producido en la misma planta.

Con base en la mayor producción de biogas (190 L/día) durante el exp. 3 debe ser tomada en cuenta ya que se puede hacer una optimización del proceso.

Los digestores anaerobios son de construcción y operación sencilla, además de ser económicos ya que en el reactor usado se emplearon materiales económicos y de fácil disponibilidad; además presentó una alta eficiencia de remoción de carga orgánica de un efluente líquido.

IX.- CONCLUSIONES.

- 1.- Es necesario darles un tratamiento a las aguas residuales, antes de desecharlas a un cuerpo acuífero.
- 2.- Los tratamientos anaerobios de película fija han demostrado ser eficientes en la remoción de sólidos y DBO, y es posible obtener biogas que ahorraría el consumo de combustible en una industria.
- 3.- El mejor TRH fué de 2.5 días, ya que hubo mayor disminución de DBO y un buen rendimiento de biogas.
- 4.- La cantidad producida de biogas fué buena, aunque el porcentaje en metano fué bajo (50 %), lo que se cree que se debió a la entrada de aire cuando se tomaba la muestra.
- 5.- El reactor tipo filtro no presentó problemas graves de operación y se recomienda su uso para tratar efluentes de destilería y probar su uso con otros sustratos de características similares.
- 6.- El empaque que se usó, fué bueno, ya que permitió buena fijación y crecimiento de bacterias y adherencia de sólidos.
- 7.- La DBO a la que salen las vinazas, todavía no cumple con los requerimientos exigidos por SEDUE, para ser descargada directamente al drenaje; por lo que es

necesario una combinación de sistemas aerobio y anaerobio para obtener efluentes de alta calidad.

8.- Se puede decir que el reactor de película fija es eficiente en la remoción de DBO en desechos altamente contaminantes como son las vinazas, pues se logró disminuir en un 71 % y está dentro de los objetivos propuestos (60 a 80 % de eficiencia de remoción).

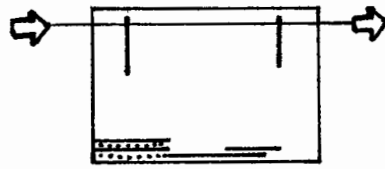
9.- De los procesos existentes en la actualidad, los más adecuados para México son los reactores de segunda generación, principalmente por sus altas eficiencias y simplicidad en su construcción y operación.

10.- Estos procesos pueden contribuir a la protección del ambiente con costos razonables.

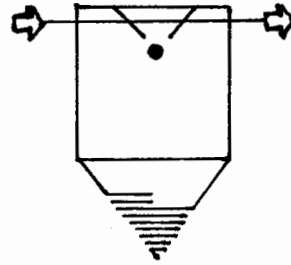
X.- RECOMENDACIONES

- Para poder estar en condiciones de adaptar la tecnología de filtración anaerobia para su uso a nivel industrial, es necesario realizar antes pruebas a nivel piloto.
- Se deben realizar más estudios para conocer la velocidad de formación de la biopelícula, para conocer la cinética de crecimiento de los microorganismos metanogénicos, así como probar diferentes empaques.
- El inóculo usado de estiércol de bovino fue bueno, sin embargo sería recomendable probar otros inóculos reportados en la bibliografía.
- También es recomendable probar con diferentes cargas orgánicas, para conocer la máxima carga permisible.
- Se recomienda hacer un estudio sobre la posibilidad de uso del biogas en la planta.

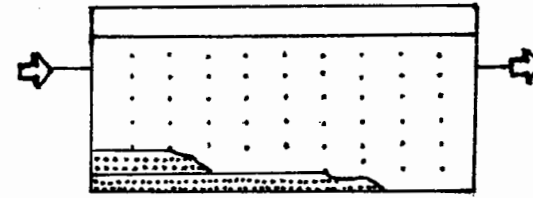
Fig. 1 REACTORES ANAEROBIOS DE PRIMERA GENERACION



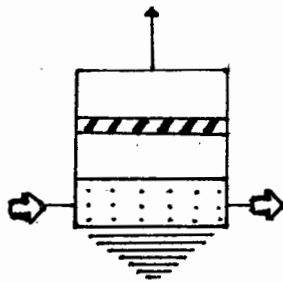
FOSA SEPTICA



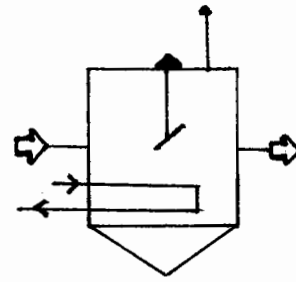
TANQUE IMHOFF



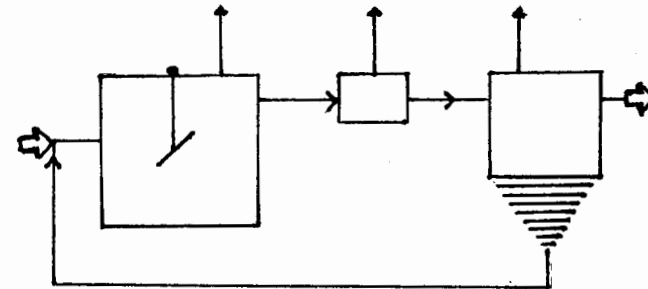
LAGUNA ANAEROBIA



DIGESTOR
CONVENCIONAL

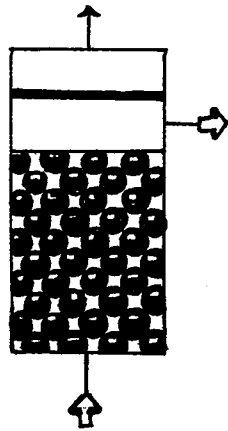


DIGESTOR
COMPLETAMENTE
MEZCLADO

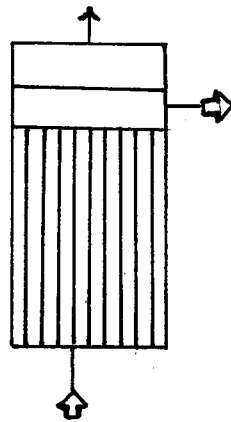


CONTACTO ANAEROBIO

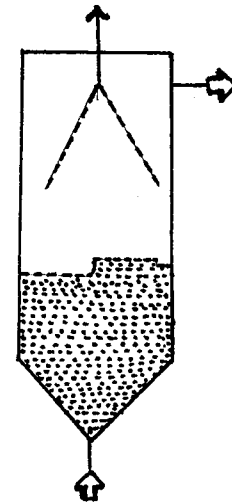
Fig. 2 REACTORES ANAEROBIOS DE SEGUNDA GENERACION



FILTRO
ANAEROBIO



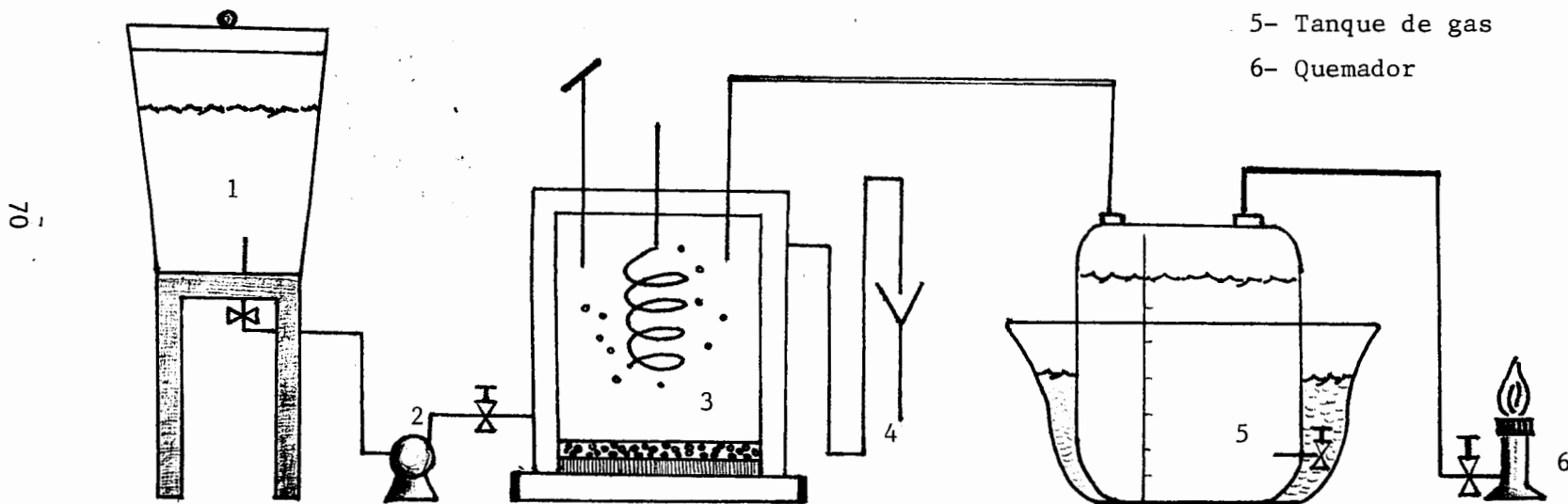
REACTOR TUBULAR
PELICULA FIJA



REACTOR DE
LECHO DE LODOS
(UASB)

Fig. 3 PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA DE
VINAZAS TEQUILERAS.

- 1- Tanque neutralizador
- 2- Bomba peristáltica
- 3- Digestor
- 4- Trampa de líquido
- 5- Tanque de gas
- 6- Quemador



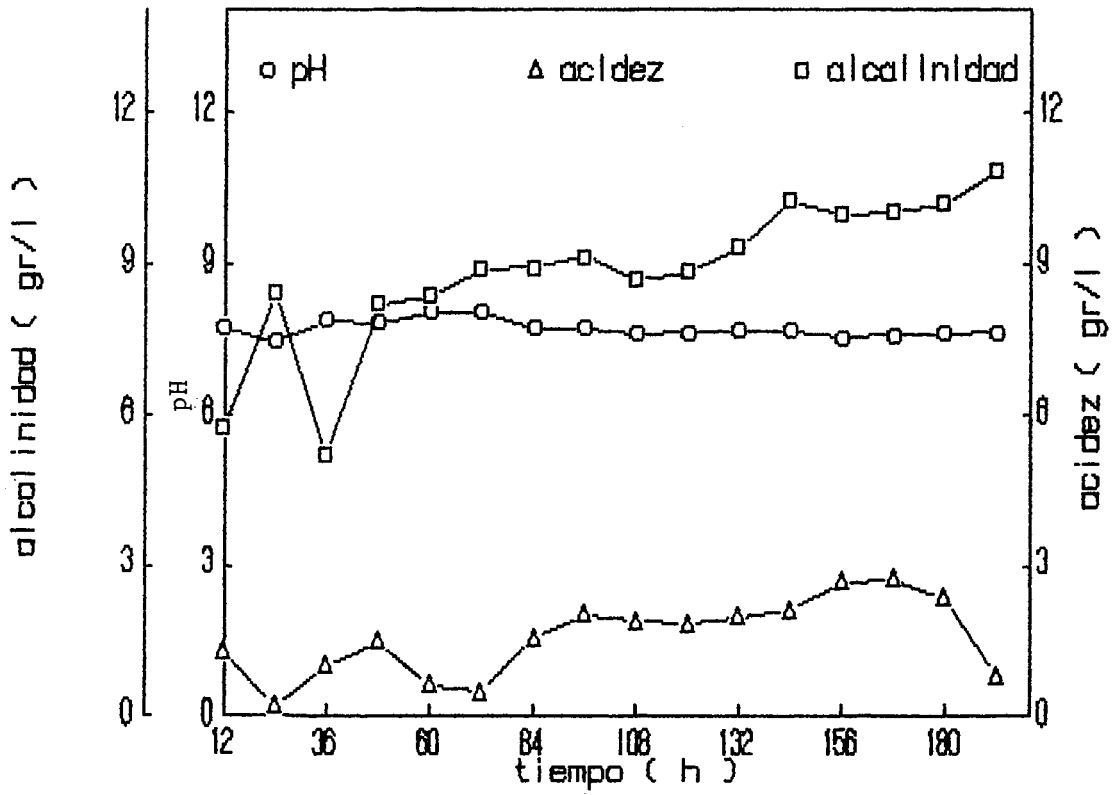


Fig. 4 Comportamiento de pH, acidez y alcalinidad en el exp. 1

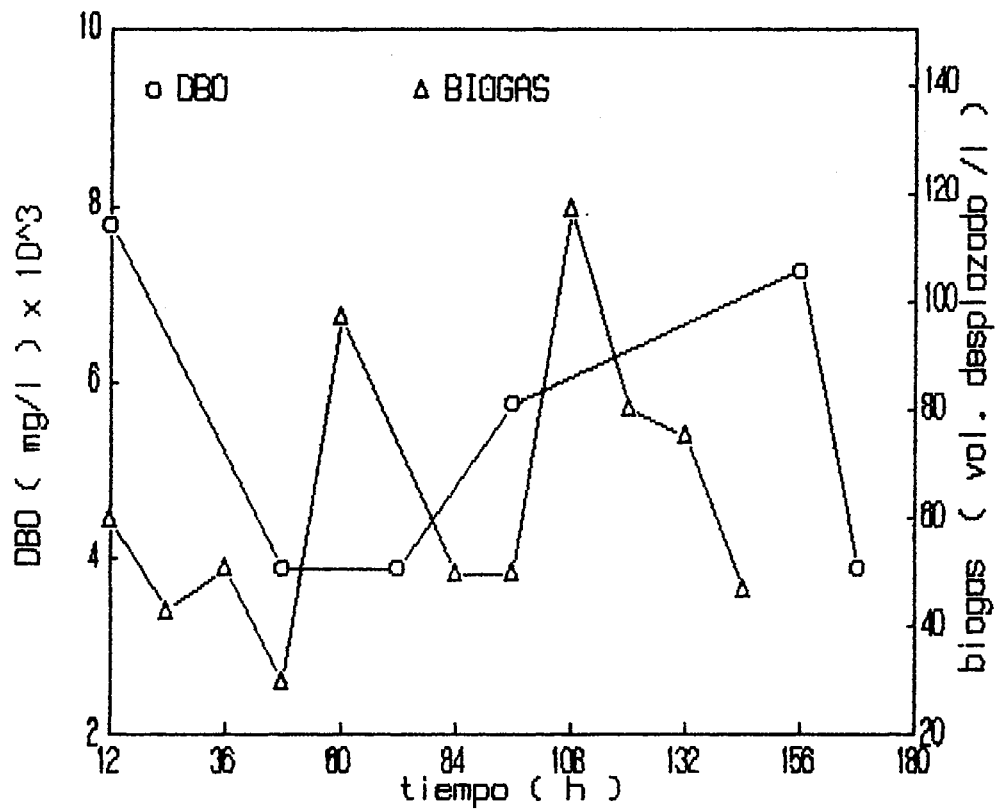


Fig. 5 Disminución de DBO y producción de biogas
en el exp. 1

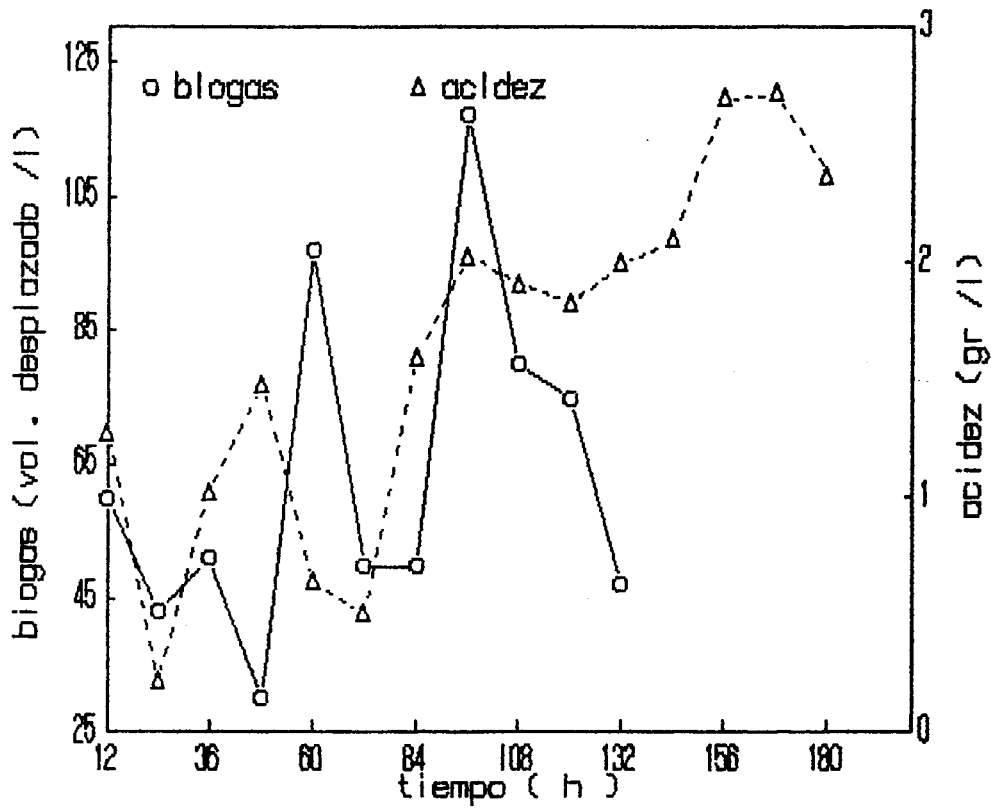


Fig. 6 Comparación de la producción de biogas y comportamiento de acidez en el exp. 1

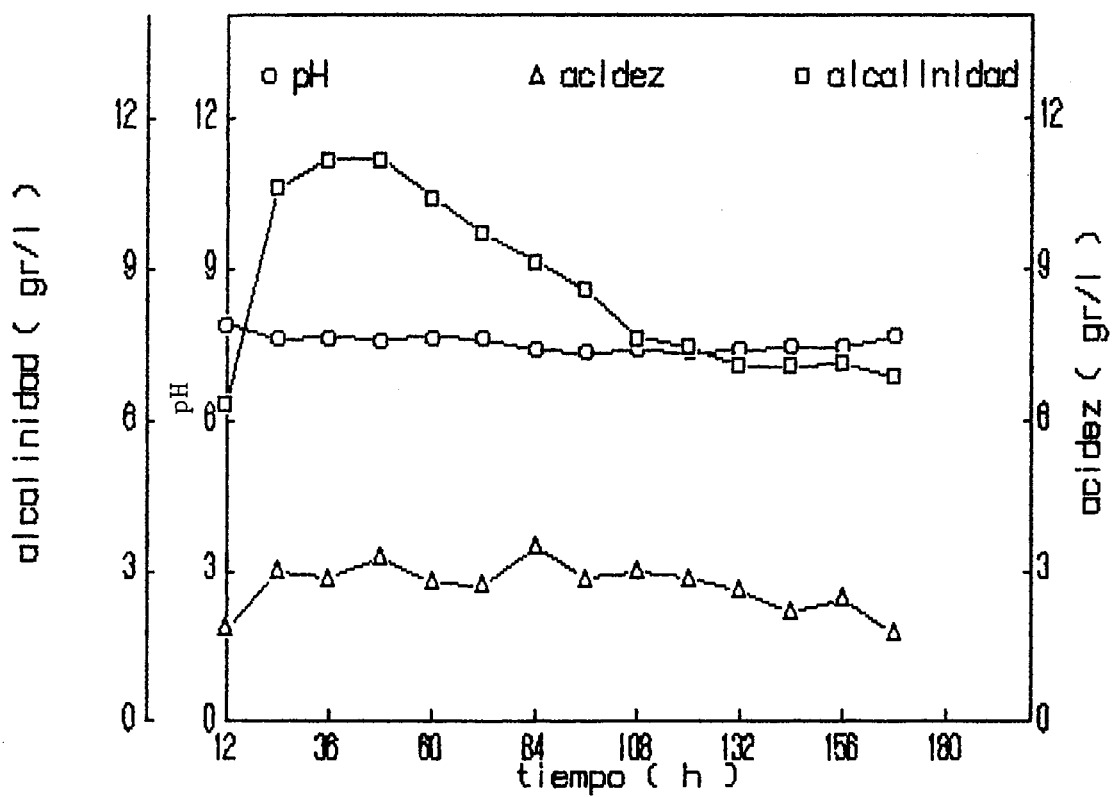


Fig. 7 Comportamiento de pH, acidez y alcalinidad en el exp. 2

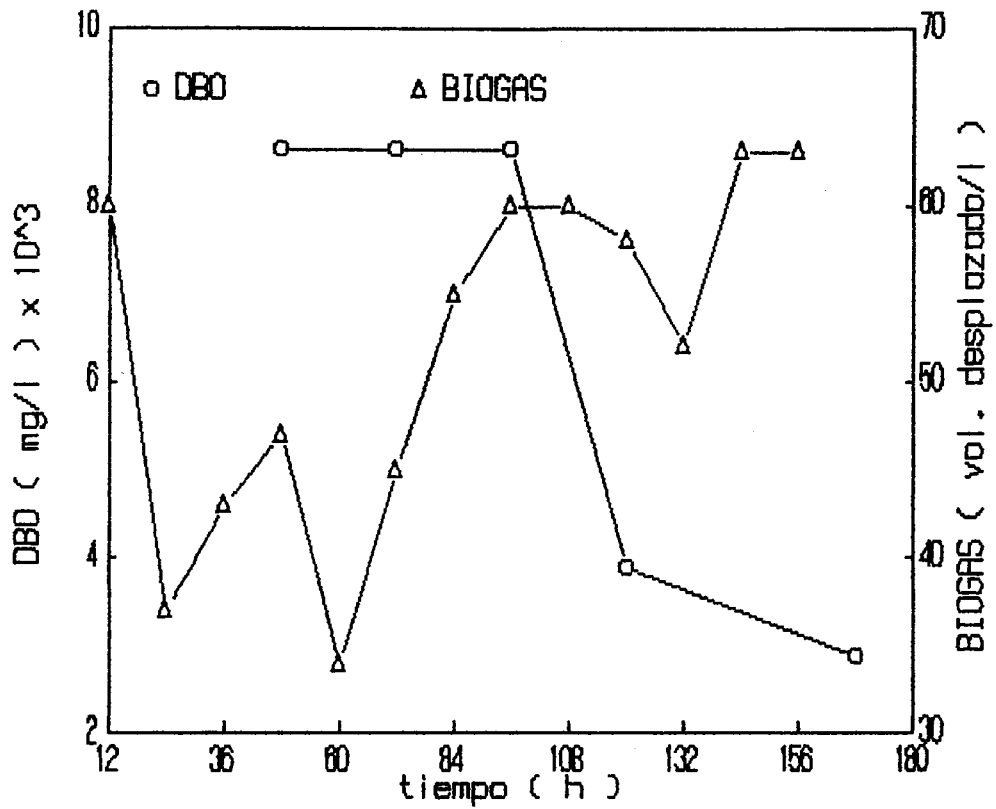


Fig. 8 Disminución de DBO y producción de biogas en el exp. 2

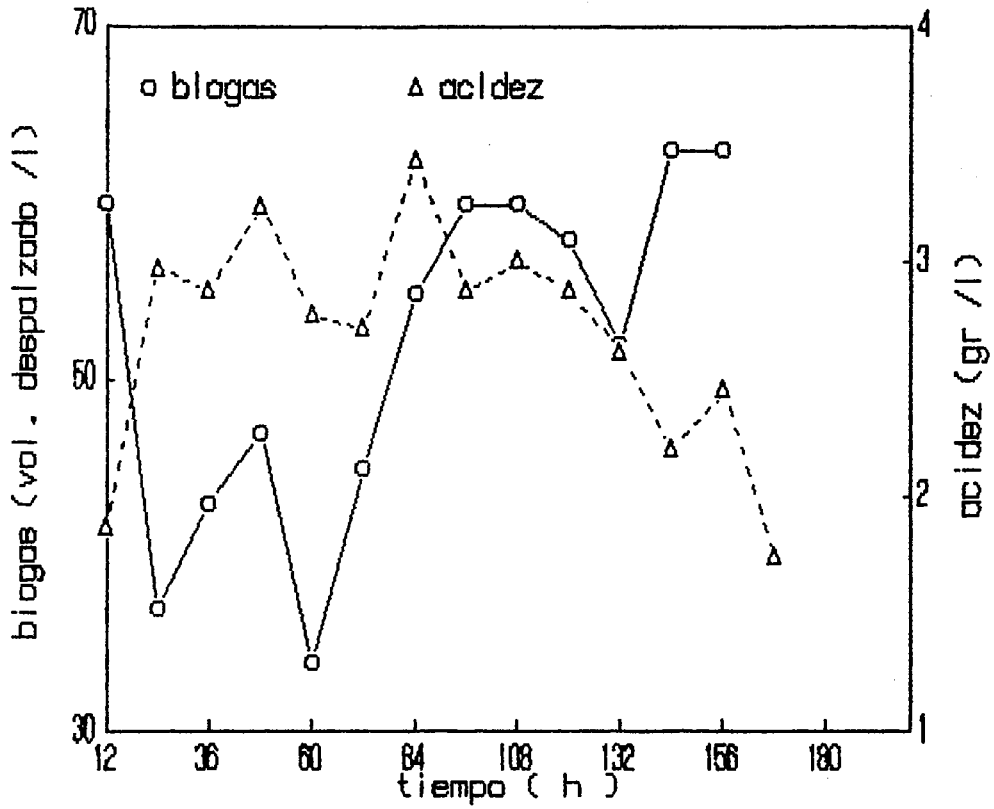


Fig. 9 Comparación de la producción de biogas y comportamiento de acidez en el exp. 2

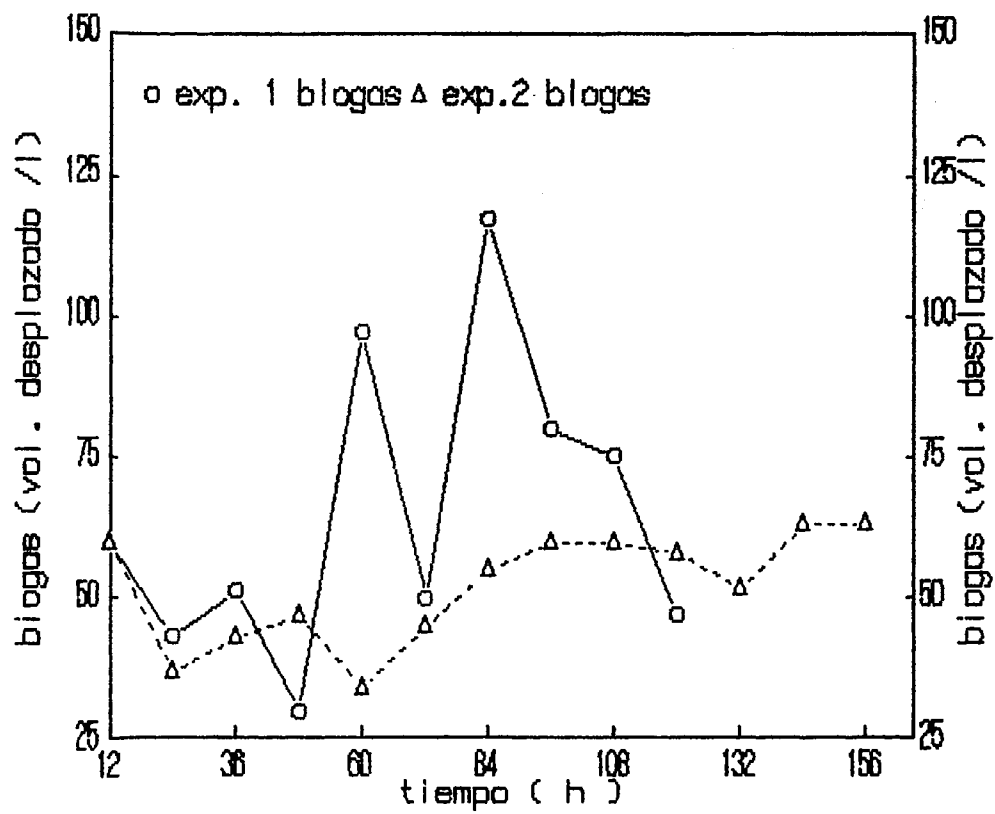


Fig. 10 Comparación de la producción de biogas en los exp. 1 y 2

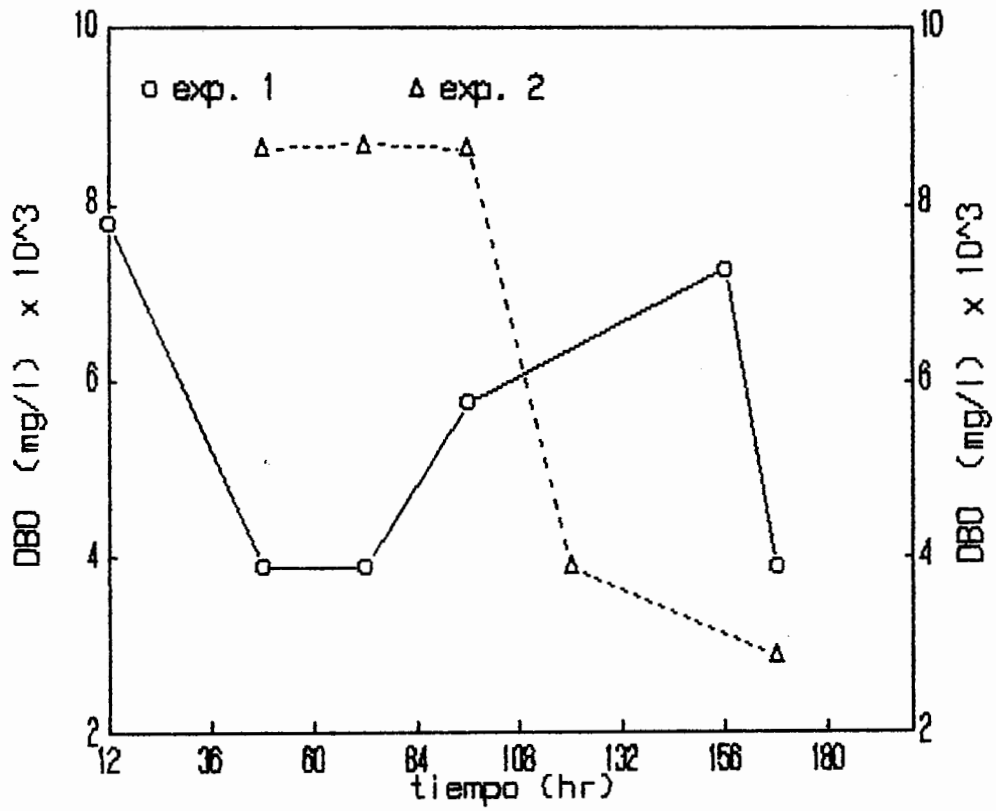


Fig. 11 Comparación de la disminución de DBO en los exp. 1 y 2

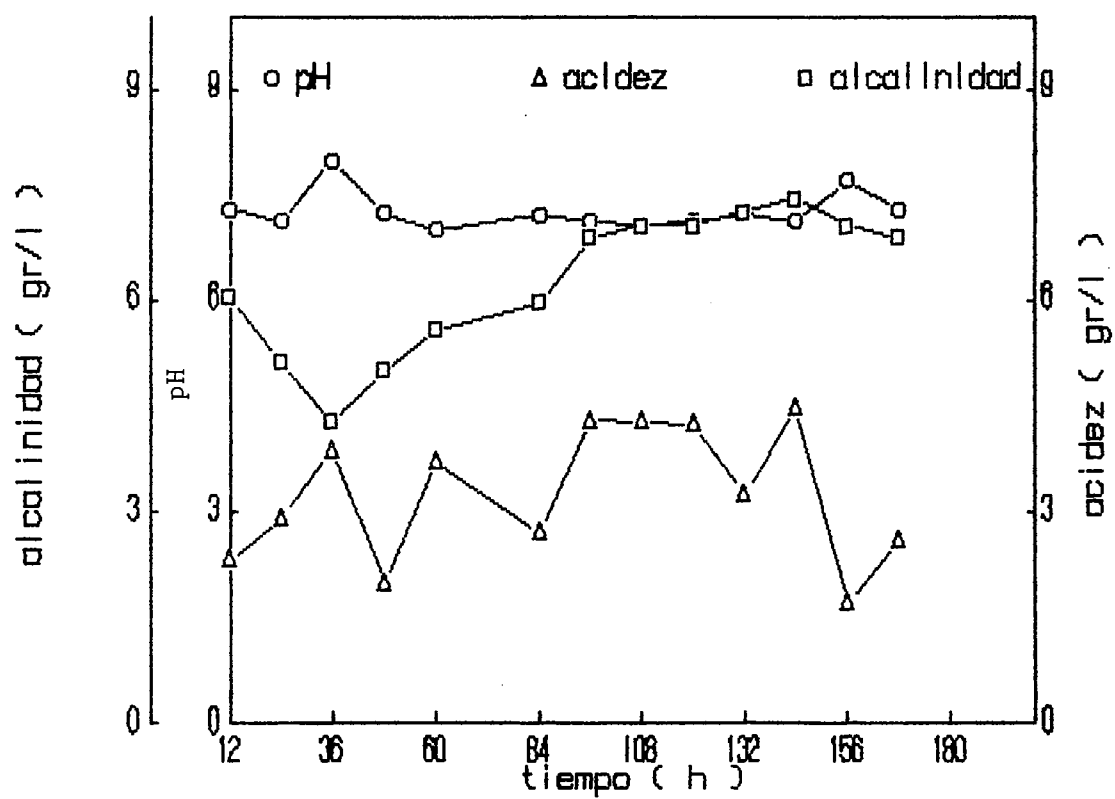


Fig. 12 Comportamiento de pH, acidez y alcalinidad en el exp. 3

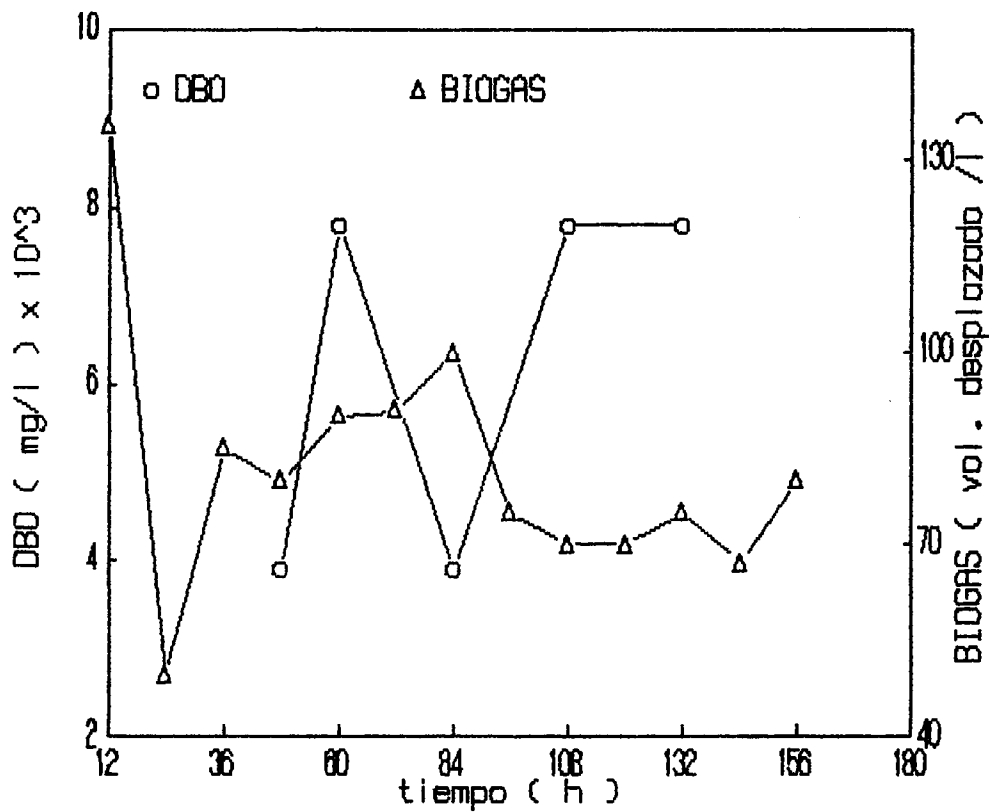


Fig. 13 Disminución de DBO y producción de biogas en el exp. 3

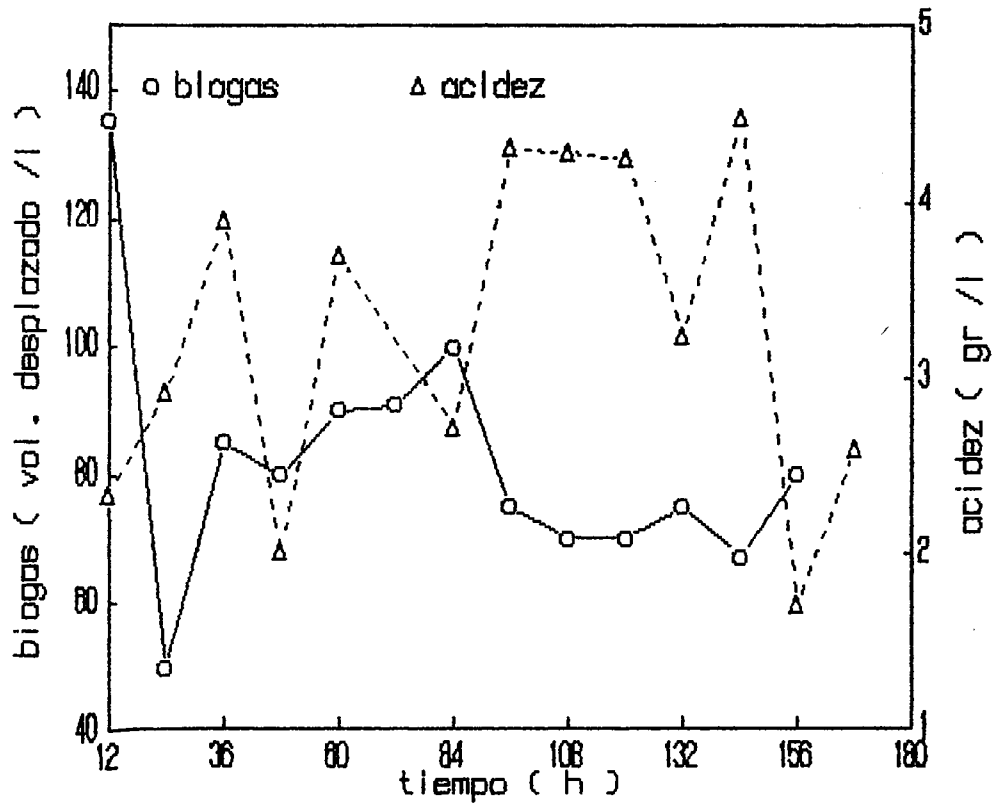


Fig. 14 Comparación de la producción de biogas y comportamiento de acidez en el exp. 3

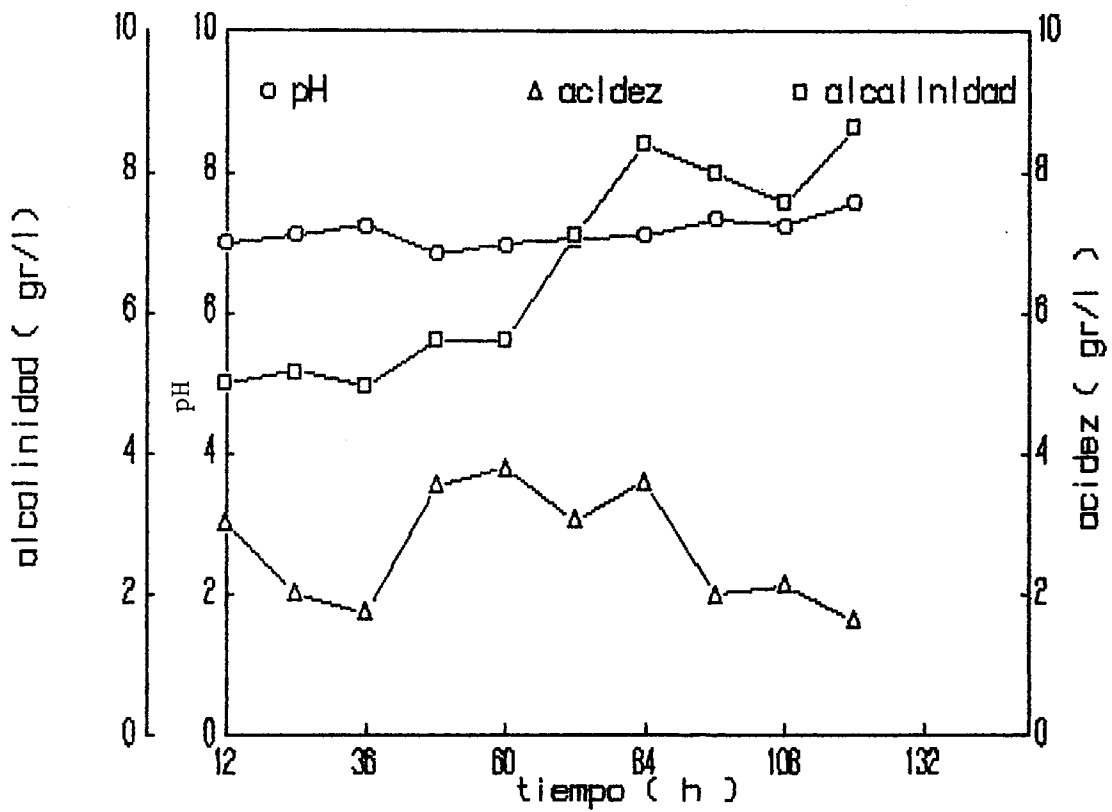


Fig. 15 Comportamiento de pH, acidez y alcalinidad en el exp. 4

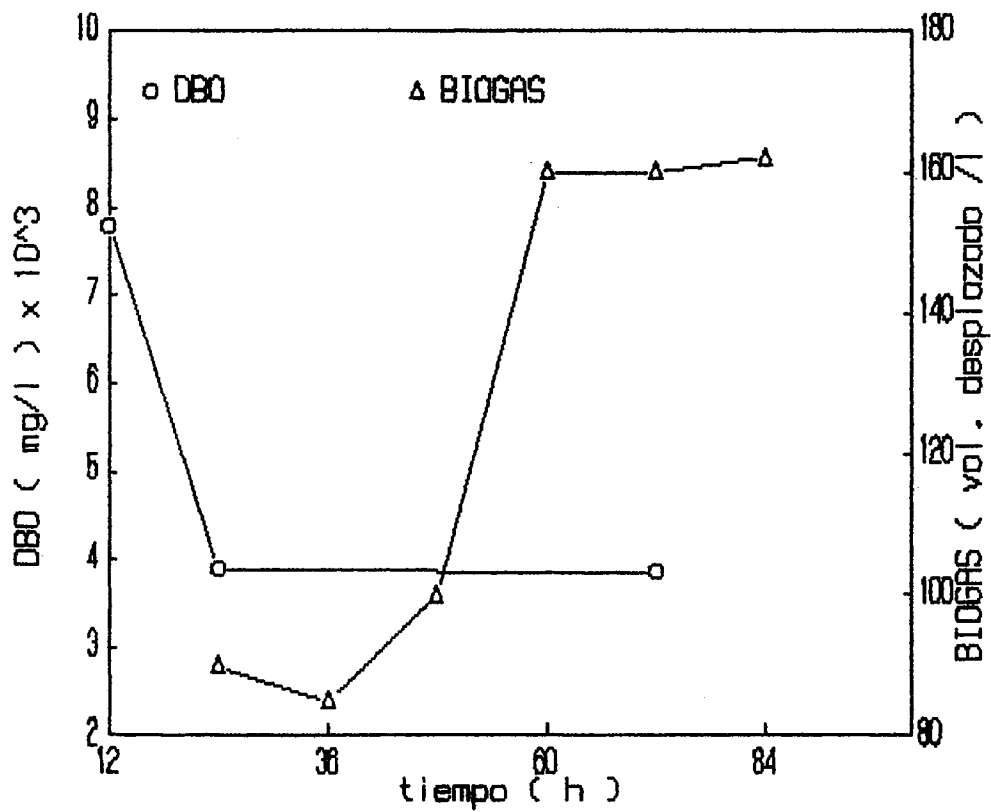


Fig. 16 Disminución de DBO y producción de biogas en el exp. 4

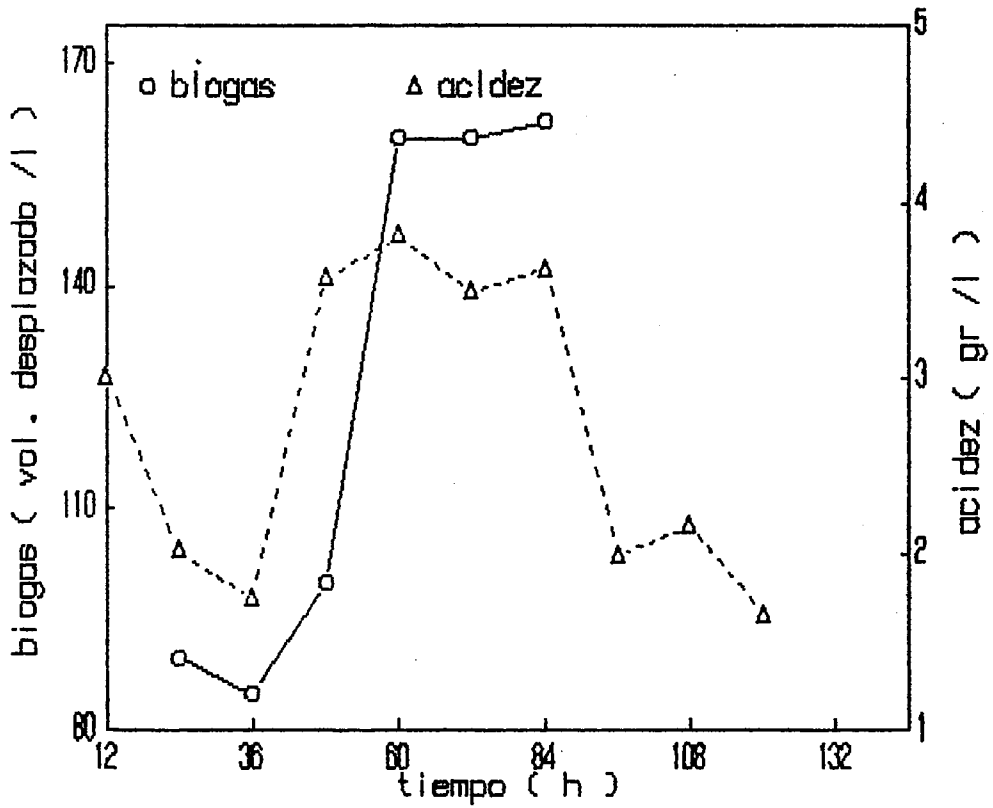


Fig. 17 Comparación de la producción de biogas y comportamiento de acidez en el exp. 4

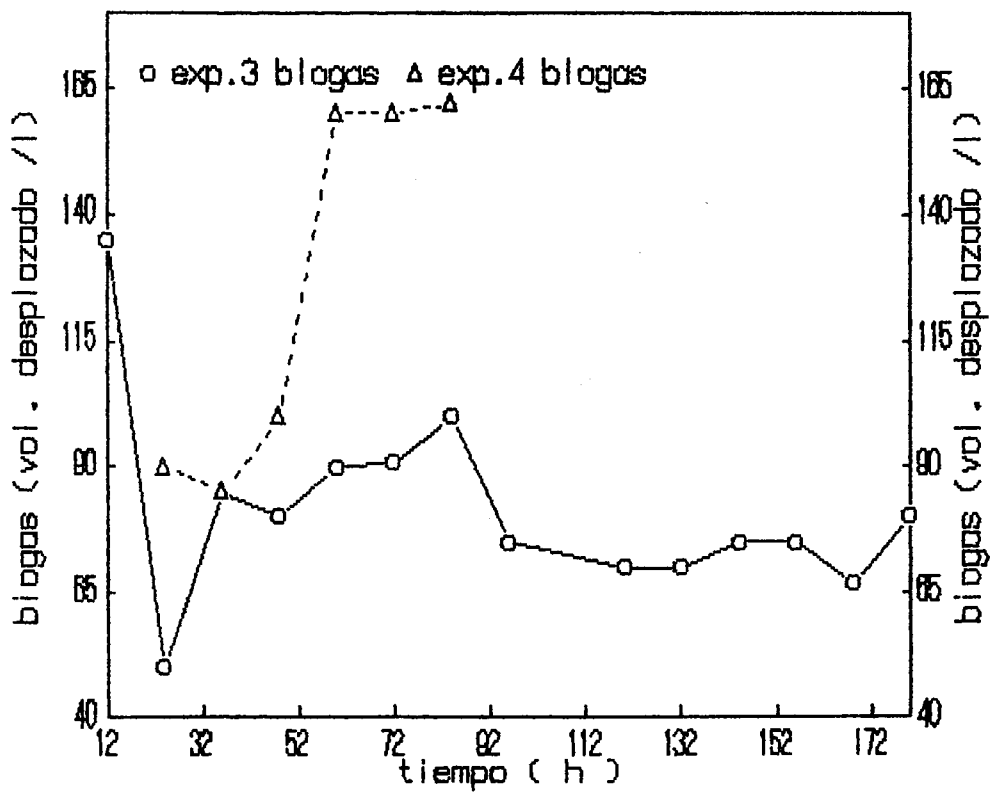


Fig. 18 Comparación de la producción de biogas en los exp. 3 y 4

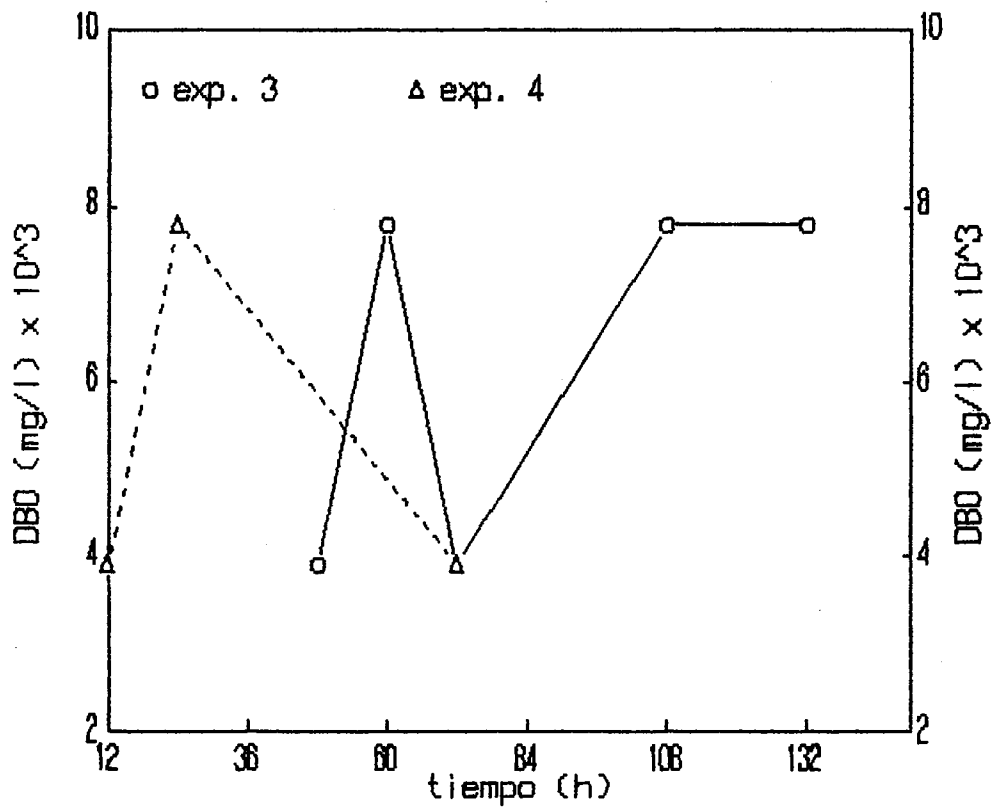


Fig. 19 Comparación de la disminución de DBO en en los exp. 3 y 4

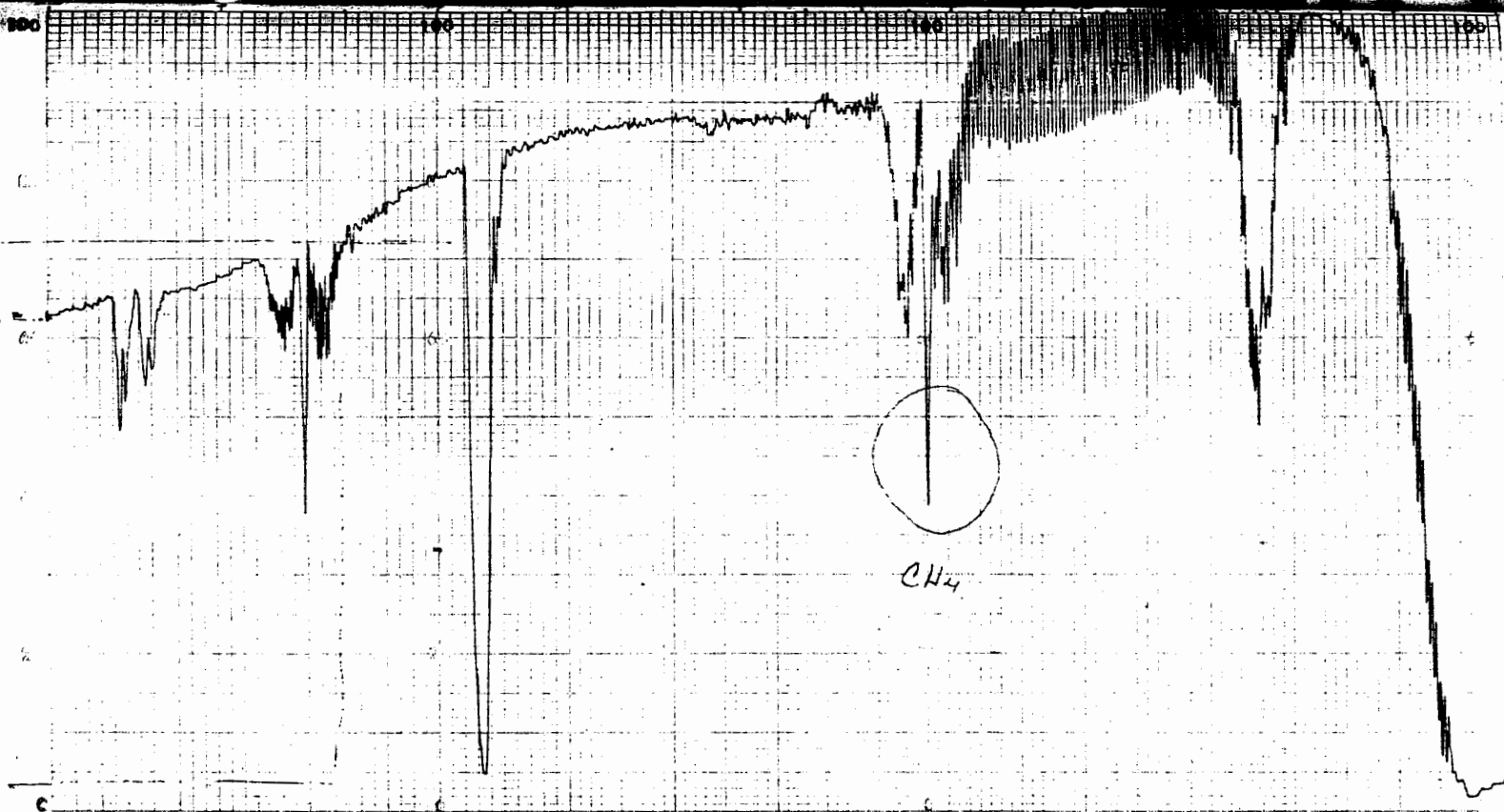
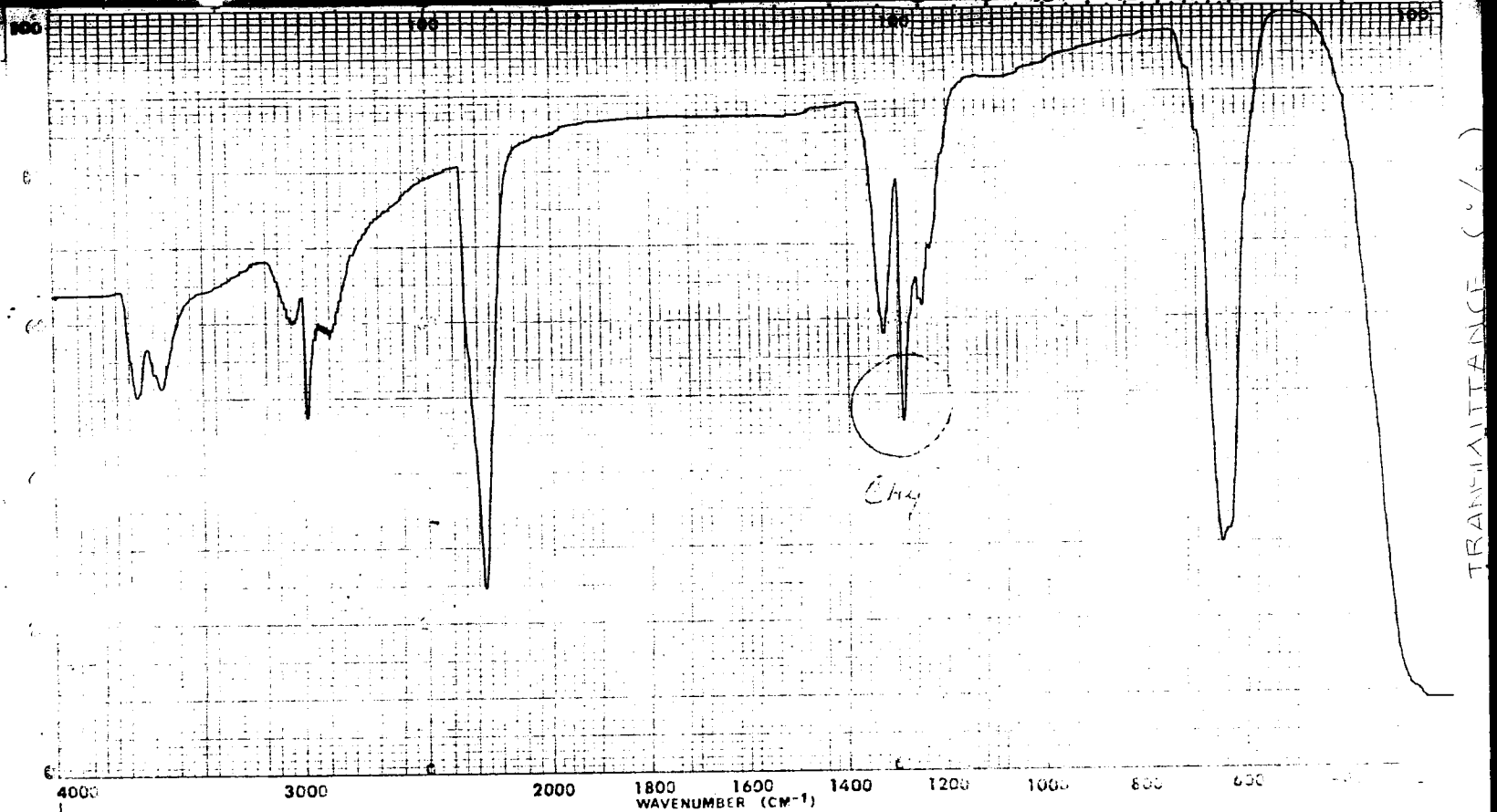


Fig. 20 Identificación cualitativa del biogas por Espectroscopia Infrarrojo; (exp. 1).

87

SAMPLE <i>BIOGAS DEL DIGESTOR ANAEROBICO.</i>		SOLVENT <i>NO</i>	SCAN <i>3 min</i>	SINGLE B. _____	REMARKS. <i>MUESTRA OBTENIDA POR ABEL GUZMAN.</i>
ORIGIN <i>PLANTA PILOTO/BIOT.</i>		CONC _____	SLIT <i>WIDE</i>	T.D. SPEED. _____	
		CELL PATH _____	OPERATOR <i>J. J. M. C.</i>	ORD. EXP. _____	
		REFERENCE _____	DATE <i>16/AGO/89</i>	T.CONST _____	
		PERKIN ELMER	No. 5102-1000	REF. No. <i>2ª MUESTRA</i>	

Fig. 21 Identificación cualitativa del bigas por Espectroscopia Infrarrojo; (exp. 2).



SAMPLE	SOLVENT	SCAN	SINGLE B.	REMARKS <i>muestreado por A.G.C.</i>
ORIGIN	CONC	SLIT	T.D. SPEED.	
	CELL PATH	OPERATOR	ORD. EXP.	
	REFERENCE	DATE	T.CONST	
	PERKIN-ELMER	No. 5102-1000	REF. No. 3	

XI. — BIBLIOGRAFIA

- 1) Noyola, R.A. 1989. Los procesos anaerobios en el tratamiento de aguas residuales. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- 2) Guzmán P., C.M. 1977. Aprovechamiento de los residuos de fermentación en la Industria tequilera como complemento de alimentos balanceados para ganado. Guadalajara, Jal.
- 3) Da Gloria, N.A. 1975. Utilización agrícola de la vinaza. Reporte de Brazil azucareiro.
- 4) De Vogel B., E. 1976. Tratamiento y aprovechamiento de agua residuales en fábricas de levadura y alcohol.
- 5) Quintero, R.R. 1987. Ingeniería Bioquímica y aplicaciones. Ed. Alhambra Mexicana. México, D.F.
- 6) Amerine, M.A. y C.S. Ouhg. 1976. Análisis de vinos y mostos. Ed. Acribia. España.
- 7) Young, J. and K.H. Song. 1986. Media desing factors for fixed bed filters. Journal WPCF. pp.115-121
- 8) Jewell, W.J. The development of anaerobic wastewater treatment of domestic wastewater.
- 9) Urzúa, J. W.P. Comunicación personal.
- 10) Almazán, O. 1968. Sobre los derivados de la caña de azúcar y utilización de los mostos residuales para la producción de levadura de forraje.
- 11) Cabib, G.H.J.Silva., A. Giulietti and R. Ertda. 1983 The use of sugar cane stillage for single cell protein production. J.Chem. Biotechnol. 33 B, 21-28.
- 12) Diario Oficial. 1988. SEDUE - Poder ejecutivo. SHCP.
- 13) Jewell, W.J. 1982. Scale-up considerations for the dry anaerobic fermentation process. Simposio Avances en digestión anaerobia. México. UNAM.

- 14) Morones, E. J.O. 1978. Métodos de tratamiento de aguas. México, D.F.
- 15) Tecnología del agua. 1987. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- 16) Operación del Digestor familiar. 1979. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Div. Fuentes de energía. Dpto. Fuentes avanzadas. Cuernavaca, Mor.
- 17) Barajas, G. 1988. Tratamiento anaerobio para la depuración de aguas residuales en base a un reactor avanzado UASB.
- 18) Félix A., S. Sánchez, M.I. Mandujano. 1979. Estudio, adaptación, y pruebas de equipos comerciales eléctricos para la utilización del biogas. Instituto de investigaciones eléctricas. Div. Fuentes de energía. Dpto. Fuentes no convencionales de energía.
- 19) Mandujano M.I. 1979. Evaluación de mezclas de estiércol de bovino y esquilmos vegetales para la obtención de biogas por fermentación anaeróbica. Instituto de Investigaciones eléctricas. Div. Fuentes de energía. Dpto. Fuentes avanzadas. Cuernavaca, Mor.
- 20) Martínez, M.A. 1977. Diseño, construcción y costos del digestor familiar de desechos orgánicos. Instituto de Investigaciones eléctricas. Cuernavaca, Mor.
- 21) Mandujano, M.I., A.M. Martínez. 1978. Comportamiento del estiércol porcino en la obtención de biogas por fermentación anaerobia. Instituto de Investigaciones eléctricas. Cuernavaca, Mor.
- 22) Mandujano, M.I., A. Félix., A.M. Martínez. 1979. Diseño, construcción y operación del digestor comunal de desechos orgánicos. Instituto de Investigaciones eléctricas. Cuernavaca, Mor.
- 23) Kennedy, K.J., M. Muzar, and G.H. Coop. 1985. Estabilidad y funcionamiento de aeróbios mesófilos fijados a la película del reactor durante sobrecarga orgánica. Div. of Biological Sciences. National Research Council of Canada.

- 24) Nordstad, R.A., M.V Thomas. 1985. Características de arranque de reactores anaerobios de lecho fijo.
- 25) Noyola, A., M. del Villar. 1987. Anaerobic Biotechnology for industrial wastewater treatment.
- 26) Sanna, P., M. Camilli and L. Deng. 1986. Recuperación de desechos agroindustriales usando un reactor anaerobio de película fija. ASSORENI, ENI, Group. Reseached Assotiation 00015 Monterotondo (Roma), Italy.
- 27) van den Berg, L. Effect of waste, inoculum and solids retention time on methano production and stability of the anaerobic contac process. Adv. Biotech. 2: 257-262.
- 28) Nordstad, R.A., M.V Thomas. 1985. Medio de block de madera para reactores de lecho fijo anaeróbico.
- 29) Wheatley, A.D., Ph.D, Casell., L, M.SC. and Winstanley. 1984. Recuperación de energía y tratamiento de efluentes de desechos industriales fuertes mediante biofiltración anaerobia.
- 30) Nordstad, R.A., M.V Thomas. 1985. Características de arranque de reactores anaerobios de lecho fijo. 28 (4).
- 31) Lettinga, G., A.I.M. Van Velsen, S.W, Hobma, W. De Zeeuw and A. Kladwijk. 1980. Use of the up-flow sludge blanket (UASB), reactor concept for biological wastewater treatment, specially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering. pp 700-733.
- 32) Standar Methods for the examination of water and wastewater. 15 th. Ed. 1980. APHA-AWWA-APCF.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE CIENCIAS

Expediente

Número ...1079/89....

SRITA. ENEDINA LOZANO PINEDO
P R E S E N T E . -

Manifestamos a usted que con esta fecha ha sido -
aprobado el tema de Tesis "TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS -
TEQUILERAS EN UN REACTOR EMPACADO" para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos a usted que ha sido aceptada como Directora de dicha Tesis a la Q.F.B. Rosa Ma. -
Domínguez Arias.



FACULTAD DE CIENCIAS

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"
Guadalajara, Jal., Septiembre 13 de 1989

EL DIRECTOR

ING. ADOLFO ESPINOZA DE LOS MONTEROS CARDENAS.

EL SECRETARIO

M. EN C. ROBERTO MIRANDA MEDRANO

c.c.p. La Q.F.B. Rosa Ma. Domínguez Arias, Directora de Tesis. Pte.
c.c.p. El expediente de la alumna.

'mjsd
Boulevard a Tlaquepaque y Corregidora, S. R.

Guadalajara, Jal.

Teléfonos 19-30-54 y 19-32-92

Guadalajara, Jal. 27 Abril de 1990

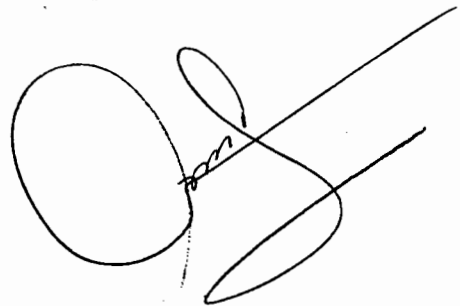
ING. ADOLFO ESPINOZA DE LOS MONTEROS C,
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
P R E S E N T E.

Estimado Ing. Adolfo Espinoza:

Por este medio comunico a usted que la Srta, Enedina Lozano Pinedo, pasante de la Licenciatura en Biología, ha concluido satisfactoriamente el proyecto de la tesis titulada: TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS TEQUILERAS EN UN ---- REACTOR EMPACADO; realizado en el Centro de Investigación y Asistencia en -- Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

Así mismo le informo que he revisado el manuscrito de la tesis y considero - que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad y lo presentamos a su consideración.

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'R' followed by a smaller 'M' and 'A' intertwined, with a long horizontal stroke extending to the right.

Q.F.B Rosa Ma, Domínguez Arias.