



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA DE
Lodos Residuales
de Diferentes Procedencias**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA

PRESENTA

ZENIA MARÍA GUTIÉRREZ TINTOR

MÉXICO, D.F.



1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Tesis

Biodegradación anaerobia de lodos residuales de diferentes procedencias

Gutiérrez Tintor Zenia María

Para obtener título de Química

México, D.F.,

1995.

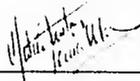
Jurado asignado

Presidente	Profr. Helio Flores Ramírez
Vocal	Profr. Gabriela Eleonora Moeller Chávez
Secretario	Profr. Irma Cruz Gavilán García
1er. suplente	Profr. José Luis Galván Madrid
2do. suplente	Profr. José Guillermo de Jesús Aguilar Osorio

La primera parte del desarrollo de la tesis se efectuó en los Laboratorios de Ingeniería Ambiental, Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM. La segunda parte en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.



M. en I. Gabriela E. Moeller Chávez
Asesor del tema



Gutiérrez Tintor Zenia María
Sustentante

*Este trabajo esta dedicado a los que me dieron lo mas bello y maravilloso
del mundo ... la vida ...*

Porque soy una pequeña parte de ellos ...

*... y ellos son **TODO** para mí ...*

*Susana Tintor Zarco y Roberto Gutiérrez Pérez
mis padres.*

¡¡ ¿Acaso solo *tú* sufres? !!

¿No oyes más lamentos que los tuyos?

Eres, sin embargo, un hombre y debieras dejar las cosas de niños.

¿Creíste que el mundo era un sueño de *dulzura y felicidad*?

Éste es el sueño de los *insensatos*, de aquellos que serán siempre niños,
de quienes temen la noche y quisieran tener siempre a su lado a los ruiseñores,
como Aedon, cantando eternamente para no oír *la voz de la tragedia*.

¡¡ *La Felicidad* !!

Quienes dicen que existe, que debiera existir,
que los hombres tienen derecho a ella, simplemente por haber nacido,
son como niños *idiotas* cuyos balbuceantes labios están untados de miel...

T.C.

PREFACIO

El presente trabajo experimental intitulado *biodegradación anaerobia de diferentes procedencias* consta de un planteamiento de la problemática, de una introducción, de la metodología usada, de los resultados: discusión, análisis y conclusiones. Cabe indicar que el proyecto se dividió en dos etapas las cuales se explican en la problemática.

Para la realización de este trabajo agradezco de manera especial a mi asesora *M. en I. Gabriela Eleonora Maeller Chávez*, porque me guió hacia el camino donde la ciencia y el espíritu científico del hombre jamás terminan, ni descansan. Además, me mostró que es posible luchar diariamente para no solo ser una profesionista mas, sino para ser una gran mujer y una mejor persona.

Asimismo agradezco a la *Universidad Nacional Autónoma de México* por la oportunidad de ser y tener una carrera *universitaria*, especialmente a la *Facultad de Química* y al *Departamento de Ingeniería Ambiental del Pasgrado de la Facultad de Ingeniería*. Al *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* por el apoyo brindado durante y en la culminación del proyecto, de manera particular al Químico Sixto Pérez. A la *Universidad Autónoma Metropolitana* por el uso de sus instalaciones además del apoyo y sugerencias de la Profra. Florina Ramírez y el Profr. Oscar Monroy. Al *Instituto Deutsche Sammlung von Mikroorganismen* por la atención prestada a nuestras cartas. A la *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chapultepec* y a la *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de ECCACIV* por permitir tomar muestras para el estudio realizado. Agradezco también a la M.I. Ann Wellens, a la B. Catalina Ferat, al Ing. Jorge Lara, al Ing. Stefan Herzog, al QFB Rafael López, al Ing. Juan García y al Profr. Felix por haberme dado sugerencias o apoyado en la realización de este trabajo.

Finalmente agradezco a las personas que con pequeños o grandes detalles, en las buenas y en las malas hemos compartido un *breve e inolvidable momento de la vida...*

Enrique Alejandro, Adriana, Carlos, Rosa María y Roberto

mis hermanos.

Ale, Ana Lu, Beto, Caro, Sol y Tavo

mis sobrinos.

A mis primos, a mis cuñados y a mis tíos

porque son mi familia.

A mis amigos del presente, porque desde el pasado han demostrado que podemos seguir siendo amigos hasta en el futuro.

Indice

	Prefacio	i
	Indice de tablas y figuras	3
I.	Problemática	8
II.	Introducción	
	1. Breve historia de la digestión anaerobia	10
	2. Concepto de lodo	12
	3. Concepto de biomasa	17
	4. Procesos bioquímicos	19
	5. Concepto de bioensayo	23
	6. Utilidad de los bioensayos	23
	7. Microbiología	25
	7.1. Clasificación de métodos y técnicas para identificar microorganismos	26
	7.2. Taxonomía de los microorganismos	29
	8. Técnicas experimentales	34
III.	Metodología	
	1. Técnica general del bioensayo	39
	2. Técnicas experimentales	42
	3. Técnicas para cultivo de microorganismos anaerobios	43
IV.	Resultados experimentales	
	1. Caracterización del lodo tipo municipal	51
	2. Caracterización del lodo tipo industrial	51
	3. Caracterización del lodo parcialmente digerido	51
	4. Resultados cualitativos del crecimiento de los cultivos anaerobios	53

V.	Análisis y discusión	
1.	Caracterización del lodo tipo municipal	54
2.	Caracterización del lodo tipo industrial	55
3.	Caracterización del lodo parcialmente digerido	56
4.	Discusión de los resultados obtenidos en el crecimiento de los cultivos anaerobios	61
5.	Tablas de porciento de eficiencia	63
	Tablas de la concentración de carbonatos	65
	Tablas del potencial bioquímico de metano	68
VI.	Conclusiones	74
VII.	Bibliografía	77
Anexo A	Taxonomía de las arqueobacterias	A1
Anexo B	Datos crudos de los resultados experimentales obtenidos	B1
Anexo C	Cálculo para obtener la alcalinidad de bicarbonatos	C1
Anexo D	Determinación del potencial bioquímico de metano	D1

Indice de tablas y figuras

2.1.	Lodos comunes de aguas residuales	13
2.2.	Procesos de estabilización empleados en el mundo	17
3.1.	Métodos de caracterización de biomasa y determinación de la actividad	19
4.1.	Diferencia bioquímica entre el proceso aeróbico y anaeróbico para el rompimiento de la materia orgánica	20
4.1.	Esquema de reacciones propuestas para la digestión anaerobia de lodos de aguas residuales domésticas	22
6.1.	Comparación de los métodos de prueba de tratabilidad anaeróbica de flujo continuo y por lote	24
8.1.	Relación entre el metano producido y DQO_{rem} a diferentes temperaturas	36
III.1.	Esquema de las pruebas de tratabilidad	41
V.1.	Eficiencias máximas respecto a la demanda química de oxígeno para los tres lodos	57
V.2.	Eficiencias máximas respecto a los sólidos suspendidos volátiles para los tres lodos	58
V.3.1.	Datos de eficiencias respecto a la demanda química de oxígeno para el <i>lodo municipal</i>	62
V.3.2.	Datos de eficiencias respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el <i>lodo municipal</i>	62
V.3.3.	Datos de eficiencias respecto a la demanda química de oxígeno para el <i>lodo industrial</i>	63
V.3.4.	Datos de eficiencias respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el <i>lodo industrial</i>	63
V.3.5.	Datos de eficiencias respecto a la demanda química de oxígeno para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	64
V.3.6.	Datos de eficiencias respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	64
V.4.1.	Determinación de concentración de bicarbonatos para el <i>lodo municipal</i>	65

V.4.2.	Determinación de concentración de bicarbonatos para el <i>lodo industrial</i>	65
V.4.3.	Determinación de concentración de bicarbonatos para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	66
V.5.1.	Obtención del potencial bioquímico de metano respecto a la demanda química de oxígeno para el <i>lodo municipal</i>	67
V.5.2.	Obtención del potencial bioquímico de metano respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el <i>lodo municipal</i>	67
V.5.3.	Obtención del potencial bioquímico de metano respecto a la demanda química de oxígeno para el <i>lodo industrial</i>	68
V.5.4.	Obtención del potencial bioquímico de metano respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el <i>lodo industrial</i>	68
V.5.5.	Obtención del potencial bioquímico de metano respecto a la demanda química de oxígeno para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	69
V.5.6.	Obtención del potencial bioquímico de metano respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	69
V.1.	Comparación de parámetros en el <i>lodo municipal</i>	70
V.2.	Comparación de parámetros en el <i>lodo industrial</i>	71
V.3.	Comparación de parámetros en el <i>lodo parcialmente digerido</i>	72
V.4.	Eficiencias respecto a <i>DQO</i> en los tres lodos	73
V.5.	Eficiencias respecto a <i>SSV</i> en los tres lodos	73
A.1.	Taxonomía de las arqueobacterias	A1
B.1.1.	Tabla de <i>AGV's</i> para el <i>lodo municipal</i>	B1
B.1.1.	Comportamiento de <i>AGV's</i> para el <i>lodo municipal</i>	B1
B.1.2.	Tabla de alcalinidad total para el <i>lodo municipal</i>	B2
B.1.2.	Comportamiento de alcalinidad total para el <i>lodo municipal</i>	B2
B.1.3.	Tabla de demanda química de oxígeno de entrada y salida para el <i>lodo municipal</i>	B3

B.1.3.	Comportamiento de demanda química de oxígeno de entrada y salida para el <i>lodo municipal</i>	B3
B.1.4.	Tabla de producción de metano en cada reactor para el <i>lodo municipal</i>	B4
B.1.4.	Comportamiento de producción de metano para el <i>lodo municipal</i>	B4
B.1.5.1.	Tabla de sólidos suspendidos totales del <i>lodo municipal</i>	B5
B.1.5.1.	Tabla de sólidos suspendidos volátiles del <i>lodo municipal</i> . . .	B5
B.1.5.2.	Comportamiento de SST del <i>lodo municipal</i>	B6
B.1.5.2.	Comportamiento SSV del <i>lodo municipal</i>	B6
B.1.5.3.	Tabla de sólidos suspendidos fijos del <i>lodo municipal</i> . .	B7
B.1.5.3.	Tabla de sólidos totales del <i>lodo municipal</i>	B7
B.1.5.4.	Comportamiento de SSF del <i>lodo municipal</i>	B8
B.1.5.4.	Comportamiento de ST del <i>lodo municipal</i>	B8
B.1.5.5.	Tabla de sólidos totales volátiles del <i>lodo municipal</i> . .	B9
B.1.5.5.	Tabla de sólidos totales fijos del <i>lodo municipal</i>	B9
B.1.5.6.	Comportamiento STV del <i>lodo municipal</i>	B10
B.1.5.6.	Comportamiento de STF del <i>lodo municipal</i>	B10
B.1.5.7.	Tabla de porcentaje de sólidos en el <i>lodo municipal</i> . . .	B11
B.1.5.7.	Tabla de porcentaje de agua en el <i>lodo municipal</i>	B11
B.1.5.8.	Comportamiento del porcentaje de sólidos en el <i>lodo municipal</i> .	B12
B.1.5.8.	Comportamiento del porcentaje de agua en el <i>lodo municipal</i> . .	B12
B.2.1.	Tabla de AGV's para el <i>lodo industrial</i>	B13
B.2.1.	Tabla de alcalinidad total para el <i>lodo industrial</i>	B13
B.2.2.	Comportamiento de AGV's para el <i>lodo industrial</i>	B14
B.2.2.	Comportamiento de alcalinidad total para el <i>lodo industrial</i> . .	B14
B.2.3.	Tabla de demanda química de oxígeno de entrada y salida para el <i>lodo industrial</i>	B15
B.2.3.	Tabla de producción de metano en cada reactor para el <i>lodo industrial</i>	B15

B.2.4.	Comportamiento de demanda química de oxígeno de entrada y salida para el <i>lodo industrial</i>	B16
B.2.4.	Comportamiento de producción de metano en cada reactor para el <i>lodo industrial</i>	B16
B.2.5.1.	Tabla de sólidos suspendidos totales del <i>lodo industrial</i>	B17
B.2.5.1.	Tabla de sólidos suspendidos volátiles del <i>lodo industrial</i> . . .	B17
B.2.5.2.	Comportamiento de sst del <i>lodo industrial</i>	B18
B.2.5.2.	Comportamiento SSV del <i>lodo industrial</i>	B18
B.2.5.3.	Tabla de sólidos suspendidos fijos del <i>lodo industrial</i> .	B19
B.2.5.3.	Tabla de sólidos totales del <i>lodo industrial</i>	B19
B.2.5.4.	Comportamiento de SSF del <i>lodo industrial</i>	B20
B.2.5.4.	Comportamiento de ST del <i>lodo industrial</i>	B20
B.2.5.5.	Tabla de sólidos totales volátiles del <i>lodo industrial</i> . .	B21
B.2.5.5.	Tabla de sólidos totales fijos del <i>lodo industrial</i> . . .	B21
B.2.5.6.	Comportamiento STV del <i>lodo industrial</i>	B22
B.2.5.6.	Comportamiento de STF del <i>lodo industrial</i>	B22
B.2.5.7.	Tabla de porcentaje de sólidos en el <i>lodo industrial</i> . . .	B23
B.2.5.7.	Tabla de porcentaje de agua en el <i>lodo industrial</i>	B23
B.2.5.8.	Comportamiento del porcentaje de sólidos en el <i>lodo industrial</i> .	B24
B.2.5.8.	Comportamiento del porcentaje de agua en el <i>lodo industrial</i> . .	B24
B.3.1.	Tabla de <i>AGV's</i> para el <i>lodo parcialmente digerido</i> . . .	B25
B.3.1.	Tabla de alcalinidad total para el <i>lodo parcialmente digerido</i> .	B25
B.3.2.	Comportamiento de <i>AGV's</i> para el <i>lodo parcialmente digerido</i> .	B26
B.3.2.	Comportamiento de alcalinidad total para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B26
B.3.3.	Tabla de demanda química de oxígeno de entrada y salida para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B27
B.3.3.	Tabla de producción de metano en cada reactor para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B27
B.3.4.	Comportamiento de demanda química de oxígeno de entrada y salida para el <i>lodo parcialmente digerido</i> . .	B28

B.3.4.	Comportamiento de la producción de metano para el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B28
B.3.5.1.	Tabla de sólidos suspendidos totales del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B29
B.3.5.1.	Tabla de sólidos suspendidos volátiles del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B29
B.3.5.2.	Comportamiento de SST del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B30
B.3.5.2.	Comportamiento SSV del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B30
B.3.5.3.	Tabla de sólidos suspendidos fijos del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B31
B.3.5.3.	Tabla de sólidos totales del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B31
B.3.5.4.	Comportamiento de SSF del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B32
B.3.5.4.	Comportamiento de ST del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B32
B.3.5.5.	Tabla de sólidos totales volátiles del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B33
B.3.5.5.	Tabla de sólidos totales fijos del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B33
B.3.5.6.	Comportamiento STV del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B34
B.3.5.6.	Comportamiento de STF del <i>lodo parcialmente digerido</i>	B34
B.3.5.7.	Tabla de porcentaje de sólidos en el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B35
B.3.5.7.	Tabla de porcentaje de agua en el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B35
B.3.5.8.	Comportamiento del porcentaje de sólidos en el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B36
B.3.5.8.	Comportamiento del porcentaje de agua en el <i>lodo parcialmente digerido</i>	B36
B.4.	Tabla de concentración de metano en las cepas	B37

I. PROBLEMÁTICA

En la primera etapa del trabajo se realizaron pruebas de biodegradación anaerobia para asegurar que los diferentes tipos de lodos (municipales, industriales y parcialmente digeridos) eran susceptibles de ser tratados por el proceso de digestión anaerobia.

Se utilizó como inóculo lodo primario digerido de la Planta de Chapultepec, usado en proyectos anteriores y adaptado en un reactor anaerobio de 15 litros. Se esperaba que hubiera diferentes comportamientos del proceso ya que los lodos usados como fuente de alimento varían desde la categoría de municipales (*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chapultepec*), mixto con la mayor proporción de lodos industriales (*Empresa para el Control de la Contaminación del Agua del Corredor Industrial Valle Amecameca-Cuernavaca, ECCACIV*) y parcialmente digeridos (*Fosa séptica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA*).

El experimento se realizó con diferentes tiempos de retención. Basados en estudios anteriores, se identificaron algunos tiempos de retención críticos que están entre el 50 y 100 días, para este intervalo se realizaron los bioensayos por duplicado (reactores batch de 250 ml). Para el resto de los bioensayos se trabajó con muestras simples en un intervalo entre 1 y 30 días de tiempo de retención.

Al término del trabajo de investigación experimental para los tres lodos susceptibles a la biodegradación anaerobia, se obtuvieron los siguientes resultados:

- 34 % de eficiencia de remoción para el lodo de *Chapultepec*;
- 38 % de eficiencia de remoción para el lodo de *ECCACIV*, y un
- 72 % de eficiencia de remoción para la *fosa séptica del IMTA*

todos los cálculos de eficiencia se hicieron con respecto a la demanda química de oxígeno.

La segunda etapa del proyecto se inició con una capacitación para el manejo de técnicas anaerobias, es decir, preparación de medios, inoculación, mantenimiento y técnicas anaerobias sofisticadas. Además, se contó con cinco cultivos puros:

Methanobacterium formicicum, *Methanobrevibacter arboriphilus*, *Methanococcus vannielii*,
Methanosarcina barkeri y *Methanospirillum hungatei*

los cuales fueron proporcionados por el Instituto Alemán Deutsche Sammlung von Mikroorganismen, DSM, que se encarga de investigaciones relacionadas con bacterias anaerobias.

Se identificaron en forma preliminar a algunos microorganismos metanogénicos responsables de la biodegradación para verificar comparativamente en estudios posteriores las *huellas digitales* de degradación del sustrato característico de los microorganismos puros con respecto al que se tiene en cada reactor, de la misma manera se comparará la producción de metano de cada bioensayo de todo problema que también se comparará con el producido por la cepa pura, todo realizado por análisis de cromatografía de gases con detectores de ionización de flama y de conductividad térmica; Todo esto debido al predominio de cada uno de los microorganismos en las diferentes etapas por la que pasa la Digestión Anaerobia.

Los avances a la fecha son los siguientes: cultivo a proliferación de la cepa con un medio de cultivo específico (Balch), para efectuar las pruebas en mayor escala para todos los reactores. Cabe mencionar que el tiempo de crecimiento de los microorganismos anaerobios es lento y aumenta conforme se requiera de una mayor concentración, además se tiene que aumentar el volumen paulativamente para que las cepas no sean dañadas. El crecimiento de las cepas se ha seguido por la producción de metano, detectada por cromatografía con detector de conductividad térmica.

Los resultados de la proliferación deseada no han sido los esperados en el medio arriba mencionado (Balch), por lo que se decidió cambiar por otro sustrato (medio 119 de DSM).

II. INTRODUCCION

1. Breve historia de la digestión anaerobia

Una de las primeras observaciones realizada por Alessandro Volta en 1776, fue la consecuencia de todos los procesos de digestión anaerobia aunque no se reconoció en ese momento como tal. Sus experimentos demostraron dramáticamente la existencia de combustible en el aire, formado por los sedimentos de los estanques y pantanos.

Sus primeros dos trabajos de publicación incluyen ilustraciones donde una persona en la orilla del estanque, agitando con un palo el sedimento produce el desprendimiento de burbujas de gas que fueron atrapadas. Otras muestran a un individuo sobre un bote con una jarra de vidrio recolectando el gas producido por el sedimento. El colector de gas, posteriormente, mostró una ignición. En la actualidad se sabe que el gas recolectado de tal ambiente es una mezcla que consiste en 65 % de metano y 35 % de dióxido de carbono.

El tratamiento de lodos residuales fue la primera aplicación del proceso anaeróbico. La digestión anaerobia a gran escala fue practicada tiempo antes del entendimiento microbiológico y bioquímico desarrollada para tener un control efectivo del proceso. La producción de metano a partir de lodos residuales fue publicada por Dibbin en 1885. La recolección de éste útil subproducto fue reportado por Cameron y Exeter en 1895.

Los tratamientos realizados antes de 1910 en los cuales no se controlaban los procesos de calentamiento o de mezclado y las únicas variaciones se debían al sistema de almacenamiento del lodo. En las publicaciones posteriores a esa fecha, esta muy discutido el punto sobre el lugar donde fue usado el primer digestor, en el que se controlaban ya el calentamiento y el mezclado y no se sabe si fue en Alemania o en el Reino Unido. Whitehead y O'Shaughnessy reportaron en 1931 los efectos benéficos del calentamiento y mezclado en sus experimentos realizados al

digerir lodos en Birmingham, además observaron la dificultad de un buen mezclado conforme aumentaba la dimensión del digestor.

En 1954 una dependencia del gobierno del Reino Unido reportó que el diseño era muy variable y sin bases científicas, lo cual causaba problemas de dilución del lodo para reducir el tiempo de retención y producción de gas, además de las dificultades de una buena agitación. Por lo que el Laboratorio de Investigación sobre Contaminación de Aguas (Water Pollution Research Laboratory, WPRL) empezó a realizar mejoras durante los años de 1955 a 1960. Swanwick y et al., en 1969 formando parte del programa WPRL dirigió un estudio a partir de la digestión e indicó la inhibición de microorganismos anaerobios debido a detergentes, metales y disolventes los cuales no eran tan comunes como se creía.

Muchas de las dificultades las cuales han sido observadas aun hoy en día, fueron atribuibles al diseño del proceso y a defectos inadecuados, particularmente, por el calentamiento y mezclado. Se han hecho muchos estudios tomando en cuenta estos parámetros y han surgido varios modelos y modificaciones de acuerdo al lugar y tipo de lodo a tratar.

La República Mexicana cuenta con una carga aproximada de 100 m³/seg de agua residual, con un promedio superior a 4000 ppm de DBO o carga orgánica que se vierte a los cuerpos receptores, esto representa un total de 12'614,400 toneladas anuales de carga orgánica o lodos residuales, es decir, que cada habitante produce 406 g diariamente (Colín, 1991).

Debido a que los lodos ocasionan varios problemas de tratamientos y disposición final es necesario tener conocimiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas considerando su origen para establecer el proceso más adecuado, si así se requiere para su estabilización o su manejo para disposición final. El proceso de Digestión Anaerobia como tratamiento ecológico puede ser benéfico a corto y largo plazo.

2. Concepto de lodo.

El tratamiento de aguas residuales de manera constante produce un residuo, el cual debería ser eliminado del ambiente. Frecuentemente este residuo es un material semisólido, oloroso, difícil de manejar y peligroso, nombrado por lo general como *lodo*. A pesar de lo anterior, el lodo puede contener sustancias nutrientes y materiales orgánicos que pueden ser considerados como una fuente natural que pueden volverse a llenar (Vesilind, 1980).

La palabra lodo viene del latín *lutum* y se define como una sustancia o conjunto de ellas generalmente disueltas en agua y que le confieren cierta viscosidad y densidad; en este caso nos referimos a los subproductos que se obtienen en la operación de una planta de tratamientos de aguas residuales los cuales son sólidos que se asientan en el fondo de los tanques de sedimentación (lodo primario) y los flocúlos biológicos que se eliminan en las tolvas de los tanques de sedimentación secundaria (lodo secundario) o los que se obtienen por la adición de algún compuesto químico (lodo químico) (Mendoza, 1993).

La definición de lodo de acuerdo al Diario Oficial de la Federación (NOM-PA-CRP-001/93) que establece las características de los residuos peligrosos, es una mezcla de líquido y sólido en proporciones normales de 3 a 7 % en peso de sólido y el resto de agua u otro líquido. La tabla 2.1. resume las clases de lodos encontrados en el tratamiento de aguas y aguas residuales con algunas de sus características (Vesilind, 1980).

Los lodos crudos primarios por lo general se encuentran en una concentración entre el 4 al 8 % de sólidos secos. Los sólidos son totalmente molestos en el tratamiento de aguas residuales ya que tienen muy fuerte olor por permitir su estancamiento en las alcantarillas o en el fondo del sedimentador primario, además de que drenan muy poco en el lecho de secado, pero pueden ser desaguados con rapidez usando equipos mecánicos.

El lodo tratado por el proceso de digestión anaerobia desagua perfectamente en el lecho de secado, es de color oscuro y tiene un olor a humedad que no es del todo objetable.

El lodo del humus filtrado es un lodo ligeramente esponjoso como los desechos del lodo activado. El material es muy húmedo con una concentración entre 0.5 a 1.5 % de sólidos y el intervalo de color puede ir desde un amarillo hasta un casi negro, aunque el café es el que podemos considerar como el conveniente. La clase de lodo producida en la planta de lodo activado depende del método de operación y el sustrato que es el alimento para los microorganismos.

TABLA 2.1. Lodos comunes de aguas residuales

Lodo	Concentración % de sólidos	Características
Primario crudo	4 - 8	repugnante mal olor; gris-café; no drena bien en el lecho de secado, pero puede ser desaguado mecánicamente
Primario digerido anaeróbicamente	6 - 10	Desagua bien en lecho de secado; negro; con olor a humedad; produce gas
Humus filtrado	3 - 4	Esponjoso; café
De desecho activado	0.5 - 1.5	Poco oloroso; amarillo café; esponjoso; difícil de desaguar; muy activo biológicamente
Mezcla digerida	2 - 4	negro café; produce gas; la mayor parte no es fácil de desaguar (como lodo primario).
Digerido aeróbicamente	1 - 3	amarillo café; algunas veces difícil de desaguar; biológicamente activo.
Químico	0.5 - 1.5	gris amarillo; sin olor; muy difícil de desaguar.

La mezcla del lodo digerido es una combinación del primario y de desechos activados (o humus filtrado) que es ligeramente café y no tan oloroso, aunque no drena con facilidad en el lecho de secado.

El lodo tratado por el proceso de digestión aerobia tiene una baja concentración de sólidos, pero su desaguado y disposición son complicadas por su actividad biológica relativamente alta. Los grandes periodos de anaerobiosis (pérdida del oxígeno disuelto) afectan sus características, como dificultar el desaguado.

Los desechos de lodo químico del tratamiento de aguas pueden diferenciarse en el color, dependiendo del tipo de material removido del agua, aunque con frecuencia son de color grisáceo a amarillo. El desaguado de éste lodo es muy difícil pero *afortunadamente* presenta relativa inactividad biológica.

Los tipos de lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales pueden variar ampliamente de planta a planta y de tiempo en tiempo en la misma planta. La importancia de la manipulación y disposición de lodos no debe ser sobreestimada.

La tabla 2.1. incluye solo algunos de los lodos más comunes, pero los lodos más problemáticos son los producidos de alguna operación de tratamiento de desechos industriales de los cuales no se ha hecho referencia, lo cual no significa que no son importantes o de fácil manipulación.

El término *estabilización* es usado y entendido con regularidad pero de manera sorprendente es difícil de definir. En la eliminación de lodos con frecuencia se habla de estabilización de lodos sin hacer algún intento de definir el término, quizás asumiendo que el significado es obvio e intuitivo. Desafortunadamente, la ausencia de una definición estricta puede producir un considerable error (Vesilind, 1980).

Aunque se pueda hacer una definición para estabilidad no es razonable sugerir que un lodo estable es el que pueda ser dispuesto sin deteriorar el medio ambiente y sin crear condiciones molestas. Si se acepta esta definición es necesario definir el significado de deterioro y molesto.

La primera puede definirse como un método de degradación inconveniente o un efecto no deseable que existe en la ecología, el cual puede ser tóxico o la acumulación de una gran

cantidad de material inerte. La segunda puede considerarse de manera simple como la confrontación visual de lo sentido o lo olido.

De acuerdo a esta definición se han propuesto una serie de parámetros para definir estabilidad, tales como:

Producción del olor. Uno de los compuestos químicos producidos por los lodos es el ácido sulfhídrico que tiene un olor característico, sin embargo pueden generarse algunos otros, lo cual dificultaría detectar la cantidad producida de un olor existente. Las fugas de ácido sulfhídrico emitidas no significan que el lodo es inoloro, pero la presencia de una cantidad sustancial definitivamente significa que el lodo será molesto.

Toxicidad. Es indudable que la toxicidad es uno de los criterios más importantes para determinar si el lodo está suficientemente estable para ser dispuesto en el medio ambiente, la dificultad en esta determinación es medirla. La estabilidad de un lodo por su toxicidad está en función del método de disposición y cada caso debería ser evaluado por separado.

Reducción de sólidos suspendidos volátiles. Después de algún tiempo el porcentaje de SSV frecuentemente tienden a un valor constante y muchos investigadores han sugerido que este paso indica que el lodo ha sido estabilizado. Una reducción de SSV es el mejor indicador indirecto de la estabilidad.

Cambios en el Q_{O_2} como indicador de la actividad aeróbica. La velocidad de remoción de oxígeno por organismos aeróbicos es conocido como Q_{O_2} o miligramos de oxígeno usado por los microorganismos por hora por gramo de SSV en el matraz de reacción o respirómetro. A altas concentraciones de O_2 usado por gramo de sólidos tienden a indicar que el lodo es muy activa. Por lo tanto una disminución en el Q_{O_2} podría indicar que el lodo ha sido envenenado de alguna manera o ha alcanzado un estado de respiración donde la actividad biológica es mínima.

Cambios en la producción de gas como indicador de la actividad anaeróbica. La producción de biogás en la digestión anaerobia es una característica del proceso, el cual contiene una proporción bastante alta de metano que es rico energéticamente hablando y puede ser consumido sin dañar o causar molestia en el medio ambiente. La disminución de la actividad metabólica es indicado por muchos investigadores como la reducción del porcentaje de metano.

Nitrificación. En la estabilización aeróbica el ciclo del nitrógeno va de un orgánico a un amoniacal a un nitrito a un nitrato. La presencia de altos porcentajes de nitrato podrían indicar que el nitrógeno ha sido convertido a una forma totalmente oxidada. Por lo que el grado de nitrificación puede ser un buen indicador de la estabilidad bajo condiciones aeróbicas. Bajo condiciones anaeróbicas el producto final del ciclo del nitrógeno es el amoníaco con capacidad de ser nocivo por lo tanto la nitrificación no es una medida de estabilización.

DBO y DQO. El lodo crudo primario filtrado tiene una DBO de 1000 mg/l (Swanwick, 1972), en cambio el lodo digerido filtrado tiene una DBO alrededor de 100 mg/l. Por lo tanto es posible estimar la estabilidad de un lodo por la medición de su DBO o DQO del licor del lodo.

Existen otros parámetros propuestos como indicadores del grado de estabilización del lodo, los cuales son medición del ATP, de enzimas, de carbón orgánico total, de la microfauna, del desaguado, de la viscosidad, del valor calorífico, etc; los cuales pueden ser muy costosos para realizar o no son una condición necesaria que indican la estabilización del lodo.

Finalmente, un lodo estable es aquel que no crea un impacto dañino significativo en el momento de colocarlo en el medio ambiente. Los procesos de estabilización empleados en todo el mundo son los mostrados en la tabla 2.2. (Mendoza, 1993).

De los procesos mencionados anteriormente el que se ha utilizado en el proyecto para estabilizar los diferentes lodos estudiados es el de Digestión Anaerobia Mesofílica.

TABLA 2.2. Procesos de estabilización empleados en el mundo

1. Biológica:	a) Digestión Anaerobia	a.1. Sin calor a.2. Con calor a.2.1. Mesofílica a.2.2. Termofílica
	b) Digestión Aerobia	b.1. Sin calor b.2. Con calor
	c) Proceso de Digestión doble	c.1. Digestión autotérmica seguida de la digestión anaerobia
	d) Composteo	d.1. Confinamiento de lodos d.2. Hileras d.3. Pilas estáticas aeradas d.4. Tambores rotatorios d.5. Recipientes almacenadores
2. Química:	e) Adición de cal	e.1. Cal hidratada para tener al lodo pH > 12 e.2. Cal viva al lodo semideshidratado e.3. Cal viva a la masa del lodo
	f) Adición de otros agentes químicos que sirven como bactericidas	f.1. Agentes clorados f.2. Peróxidos f.3. Agentes oxidantes fuertes como KMnO_4 , NaNO_3 , O_3 , etc.

3. Concepto de biomasa.

La *biomasa* es toda la materia orgánica que puede aprovecharse para generar energía útil, está formada por árboles, pastos, cultivos, plantas acuáticas, por los residuos y desechos orgánicos, tanto forestales, agrícolas y animales, como los urbanos e industriales (Energía y Medio Ambiente, 1990).

El término biomasa se emplea para indicar la cantidad de materia perteneciente a organismos vivos que hay en un ecosistema. La biomasa puede medirse como peso fresco de organismos vivos, peso seco, cantidad de carbono, cantidad de proteínas, etc; pero se requiere que sea un parámetro de medición relativamente fácil y que admita posibilidades de comparación entre

diferentes sistemas ecológicos.

El biogás es un combustible, con la mayor proporción de metano limpio por lo que no causa contaminación en el aire. La importancia de la producción de biogás en el proceso además de producir calor, electricidad, movimiento mecánico y de ser un buen fertilizante (al menos cuando se utiliza estiércol de vaca o de cerdo), es que se tiene un control efectivo de parásitos dañinos durante la descomposición causando la muerte a muchos de ellos. La probabilidad de una explosión con biogás es pequeña ya que contiene CO_2 el cual actúa como extinguidor del fuego (Khandelwal and Mahdi, 1986).

Caracterización de la biomasa.

Para la caracterización y análisis de la biomasa es importante efectuar una investigación y aplicación en procesos anaeróbicos. En contraste a el proceso aeróbico, en el cual todos los parámetros (principalmente en los de consumo de oxígeno) pueden servir como indicador de actividad microbiológica, un indicador no muy común debe ser usado para todas las bacterias anaeróbicas porque el proceso es mejorado por varios grupos tróficos bacterianos con sus respectivas vías metabólicas anaerobias.

Aunque el metano es uno de los principales productos terminales del proceso anaeróbico, en algunas ocasiones aun es necesaria la caracterización de la población y/o actividad de los diferentes grupos tróficos.

Muchos investigadores han intentado caracterizar la biomasa y determinar la actividad. Los presentes métodos usados pueden clasificarse como se observa en la tabla 3.1 (Takashima, 1987).

El primer método (1) es una prueba fácil pero tan general al evaluar la actividad como biogás que es una mezcla (metano, CO_2 , H_2 , H_2S , etc.). Los métodos 2 y 3 son ampliamente empleadas hoy en día, sin embargo, el procedimiento aun no ha sido estandarizado en relación a la temperatura, pH, prueba del medio incluyendo el sustrato, etc. Los métodos del 4 al 9, en la

actualidad, están muy desarrollados o en uso de investigación; cada uno tiene ventajas y desventajas diferentes. El desarrollo y estandarización de métodos para la caracterización de biomasa son necesarios de realizar para un futuro cercano.

TABLA 3.1. Métodos de caracterización de biomasa y determinación de la actividad.

* Pruebas de actividad metabólica usando la prueba de grupo:
1) Velocidad de producción de biogás.
2) Velocidad específica de producción de metano o relación específica de remoción de DQO basada en los sustratos generales y cantidad de sólidos suspendidos volátiles.
3) Velocidad de conversión del sustrato específico (acetato, H ₂ -CO ₂ , formiato, propionato, butirato, glucosa, etc.).
* Pruebas de población microbiológicas:
4) Enumeración del número más probable (NMP).
5) Pruebas inmunológicas (especialmente para identificación de especies metanogénicas).
6) Observación al microscopio y microscopio electrónico.
* Pruebas de material intercelular:
7) Contenido de coenzima F ₄₂₀ .
8) Contenido de uniones esteres en la membrana.
9) Contenido de hidrogenasa.

4. Procesos bioquímicos.

El tratamiento biológico de un agua residual tanto como de un lodo, puede ser efectuado por dos alternativas diferentes llamadas procesos de tratamiento anaeróbico y aeróbico. La diferencia bioquímica entre estos dos tratamientos se debe al rompimiento de un carbohidrato y se muestra en la tabla 4.1 (Biothane, 1987).

TABLA 4.1. Diferencia bioquímica entre el proceso aeróbico y anaeróbico para el rompimiento de la materia orgánica.

<i>Reacción Donadora de Electrones</i>	G_0 (KJ/Reacción)
$C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O \rightarrow 6 HCO_3^- + 6 H^+ + 12 H_2$	+ 3.2
<i>Reacción Utilizando Electrones</i>	
Respiración Aeróbica $12H_2 + 6O_2 \rightarrow 12H_2O$	- 2 847
Reducción Metanogénica del Bicarbonato $12 H_2 + 3 HCO_3^- + 3 H^+ \rightarrow 3 CH_4 + 9 H_2O$	- 407

La alternativa aeróbica requiere oxígeno y genera mucho más energía para los microorganismos implicados que el proceso anaeróbico. Una parte de ésta energía es utilizada para formar nueva biomasa, la cual al final tendrá que ser dispuesta como un exceso de lodo. La diferencia del tratamiento anaeróbico es la generación de una décima parte de lodo comparable al sistema aeróbico. Por lo que la aplicación del tratamiento anaeróbico ofrece sustanciales ventajas.

Las bacterias activas en un digestor anaeróbico generalmente son divididas en dos grupos llamados:

1. Bacterias formadoras de ácidos, (algunas veces también conocidas como bacterias fermentativas o acidogénicas) que convierten casi todo el material de desecho en ácidos grasos volátiles (AGV's) y otros grupos intermediarios y,
2. Bacterias formadoras de metano, (también llamadas metanogénicas) que convierten los productos del paso anterior a metano y dióxido de carbono.

Además se requieren tres condiciones básicas para tener una buena metanogénesis:

- * anaerobiosis estricta
- * condiciones reductoras rigurosas (< -330 mV)
- * ausencia (o cantidades muy limitadas) de aceptores minerales finales (sulfatos, nitratos) que favorezcan otras vías en competencia con la metanogénesis.

El principio del tratamiento anaerobio de las aguas y lodos residuales consiste en la transformación de la materia orgánica en biogás, el cual contiene principalmente metano y dióxido de carbono. A diferencia del proceso aerobio la materia orgánica se convierte primero en biomasa, es decir lodos biológicos que hay que tratar después.

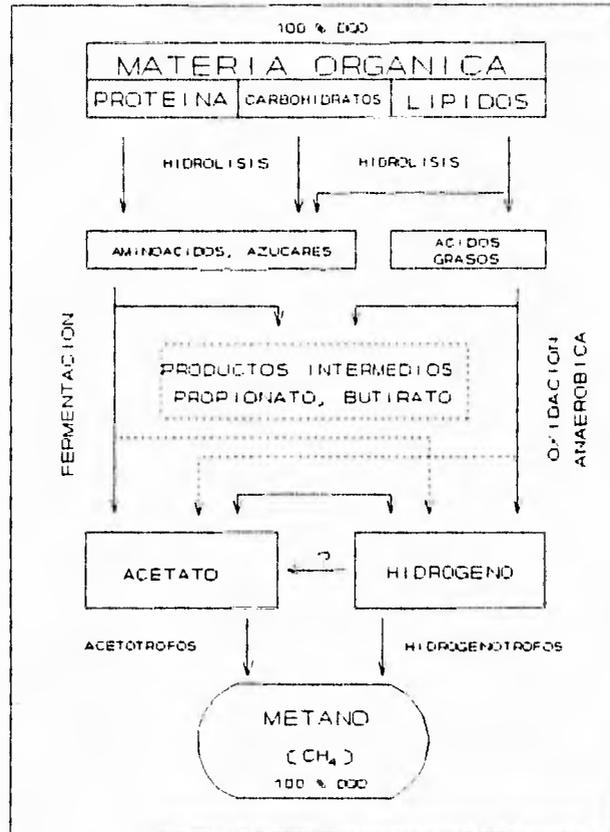
La degradación anaerobia para los lodos en los digestores anaerobios procede de acuerdo al esquema mostrado en la fig. 4.1 (Moeller, 1988). Las condiciones para que se efectue el proceso anaeróbico se refiere al ambiente de trabajo que debe ser el adecuado para las bacterias, ya que necesitan una fuente de energía (alimento), el cual es el componente biodegradable en el agua residual o en el lodo, además requieren de nutrientes, los más importantes son nitrógeno y fósforo. El pH y temperatura tendrán que ser mantenidos en un intervalo en el cual las bacterias puedan ser activas.

De los dos grupos de bacterias las formadoras de metano son las más sensibles. Por ejemplo las metanogénicas solo son activas en un intervalo de pH entre 6.6 a 7.8; son muy activas en el intervalo de temperatura entre 32 a 35 °C; en cambio las fermentativas pueden llegar a formarse muy fácilmente en un amplio intervalo de pH y de temperatura. Por último una diferencia muy importante es la velocidad de crecimiento de las formadoras de ácido versus las formadoras de metano. Cuando ambos grupos son activos, las fermentativas se multiplican en unas cuantas horas, mientras que las metanogénicas se multiplican una vez por unos cuantos días.

La clave del éxito además del control de la operación de un digestor anaeróbico, es el de mantener un buen balance entre las bacterias fermentativas y metanogénicas. Particularmente, la finalidad de mantener el medio ambiente favorable en el digestor es para que el crecimiento

del lodo formado se convierta a metano.

FIG. 4.1. Esquema de reacciones propuestas para la digestión anaerobia de lodos de aguas residuales domésticas.



Este control es alcanzado por un monitoreo minucioso de los parámetros semejantes a: pH, temperatura, nivel de nutrientes, concentración de productos intermedios, producción de biogás y composición, etc., además de hacer en el momento requerido los ajustes del proceso donde y cuando sea necesario.

5. Concepto de bioensayo.

Los bioensayos son pruebas a nivel laboratorio aplicando las condiciones del proceso en estudio y haciendo un control del mayor número de parámetros posibles. Estas pruebas se realizan para poder hacer estimaciones aproximadas en el momento de diseñar un reactor a gran escala. Estrictamente hablando los bioensayos son frascos de suero de volumen pequeño, que además de contener el lodo a estudiar, se le adiciona un medio anaerobio determinado (nutrientes) y controla la atmósfera para que sea anaerobia estricta usando N_2 . Los datos básicos de tratabilidad biológica pueden ser generados usando bioensayos ya sea de flujo continuo o pruebas de tipo batch (Soto et al, 1992).

Las aproximaciones de flujo continuo utilizan reactores de pequeña escala los cuales son contruídos para incorporar muchas de las características de diseño de sistemas a gran escala las cuales son preferentes a las de tipo batch. Sin embargo, con estas últimas es posible generar un mayor número de pruebas para tener mayor información del lodo que se desea estudiar.

6. Utilidad de los bioensayos.

Los ensayos anaerobios permiten evaluar:

- a) La biodegradabilidad anaerobia del agua o lodo residual, o de sus componentes;
- b) La toxicidad del agua o lodo residual (o de alguno de sus componentes) sobre los grupos microbianos responsables de cada una de las etapas del proceso anaerobio, que resultan fundamentales en la caracterización previa de un agua o lodo residual, especialmente de origen industrial.

Además estas pruebas pueden aplicarse a la determinación de la actividad metanogénica y no metanogénica de un lodo seleccionado como inóculo o del lodo de un digestor en funcionamiento

de su gran utilidad a la hora de realizar la puesta en marcha y optimizar el funcionamiento de un digestor anaerobio (Soto et al, 1992). La tabla 6.1. resume las ventajas y desventajas de cada método especialmente donde se aplica el tratamiento anaerobio (Hall, 1994).

TABLA 6.1. Comparación de los métodos de prueba de tratabilidad anaeróbica de flujo continuo y por lote.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Pruebas por lote:	
Se requiere un volumen pequeño de agua residual	Propósitos limitados para evaluar la aclimatación y los efectos de limitación de nutrientes.
equipo de bajo costo	Condiciones de flujo diferentes de las plantas de tratamiento reales.
mínimos requerimientos en el laboratorio	
bajo costo en el monitoreo y análisis	
muchos parámetros pueden ser examinados sin usar un programa extenso para incrementar el número	
Pruebas de flujo continuo:	
las condiciones de operación simulan la planta de tratamiento real	requieren de un gran volumen de agua residual
puede evaluarse la aclimatación biológica	un mayor monitoreo y más requerimientos en los análisis
puede ser determinado el límite de nutrientes	el equipo es más caro
pueden ser estudiadas las propiedades físicas de la biomasa anaeróbica	un número limitado de posibles condiciones experimentales, se requiere de un largo programa de pruebas
	dificultades de operación asociados con el equipo de pequeña escala

7. Microbiología

Como se mencionó con anterioridad, la microfauna es un parámetro que indica el grado de estabilización del lodo. Vesilind (1980) ha informado que hay bacterias, virus y diversas formas de patógenos como huevos de helminto que son descargadas de la planta de tratamiento con el lodo. Si el lodo es colocado en un lugar donde pudiera tener algún contacto con el hombre, se debe conocer y controlar la concentración de patógenos en el lodo. En algunos lugares del mundo los lodos son pasteurizados para asegurar su control.

El proceso de tratamiento de digestión anaerobia controla la concentración de éstos microorganismos, pero además, provoca el desarrollo o la formación de las bacterias acidogénicas y las metanogénicas (de las que anteriormente ya se hizo mención), que no son nocivas para el hombre por las condiciones ambientales en las que viven (ver apartado 4). Pero es interesante conocer la microfauna anaeróbica que existe en el digestor para un lodo determinado.

Los microbiólogos hacen hincapié en el uso de las palabras identificación y clasificación, las cuales no son sinónimos ya que el problema de identificar un microorganismo dado difiere de aquel de colocar en su lugar correcto y en su orden, filogenéticamente hablando (Steel, 1962).

En los estudios de taxonomía es importante manejar:

- a) la clasificación, que es el arreglo de organismos en grupos taxonómicos (taxa) en base a su semejanza o parentesco,
- b) la identificación, que es el proceso de determinar que un nuevo aislamiento sea parte de un taxa establecido, y
- c) la nomenclatura, que consiste en asignar los nombres a los grupos taxonómicos de acuerdo a las reglas internacionales.

La clasificación de algún organismo requiere conocer sus características obtenidas experimentalmente así como de las técnicas de observación, bioquímicas, fisiológicas y genéticas. En la identificación, la velocidad es imperativa y menos importante que la precisión.

7.1. Clasificación de métodos y técnicas para identificación de microorganismos.

Los métodos y técnicas empleados con frecuencia para realizar una descripción o identificación de los microorganismos son los siguientes (Steel, 1962):

a) Caracteres detectables por los sentidos.

Los microorganismos pueden ser reconocidos de manera visual macroscópica y microscópicamente (haciendo uso del microscopio, incluso del electrónico). Con el sentido del tacto, pueden ser detectados pero no de manera directa, ya que es necesario hacer uso de un alambre o de una lazada. Y con el sentido del olfato, ya que algunos tienen un olor característico, de acuerdo a su sustrato y ambiente en el que vive. Sin embargo, estos caracteres no son esenciales para la identificación de una especie o subespecie definida.

b) Color.

Las colonias coloridas pueden ser útiles en la identificación de un organismo desconocido. Existen microorganismos que contienen un pigmento colorido con el cual es posible reconocerlos, aunque son muy limitados y bajo ciertas condiciones.

c) Fluorescencia.

En comparación con la técnica de color, pocos microorganismos están dotados de fluorescencia natural (Steel, 1962), por lo que no es una técnica ampliamente usada.

d) Técnicas de anticuerpos fluorescentes.

La teoría indica que cualquier fluorocromóforo puede ser usado para marcar los anticuerpos pero solo la fluoresceína y la rodamina han sido ampliamente usados. Las ventajas por usar esta técnica son velocidad, sensibilidad y especificidad. Sin embargo, la respuesta positiva de la reacción con anticuerpos fluorescentes no constituyen un diagnóstico confirmado, pero sí una gran evidencia de su existencia.

e) *Serología.*

Las pruebas serológicas convencionales comprenden las técnicas de aglutinación, fijación complementaria y precipitación; las cuales han sido adicionadas a las técnicas de anticuerpos fluorescentes para obtener mejores resultados.

f) *Métodos bioquímicos.*

Estas pruebas de largos períodos de tiempo son iguales a las herramientas de trabajo de un diagnóstico. Desafortunadamente muchas de ellas parten de algo que se desea saber, ya que al iniciarse tienden a crecer con lentitud pero los avances hechos en bioquímica microbiológica son considerables.

g) *Pruebas de inhibición.*

Muchos medios de cultivo contienen agentes inhibidores o supresivos al crecimiento de un microorganismo particular. Sin embargo, tales medios no son suficientemente específicos para permitir un diagnóstico inmediato. El uso de agentes inhibidores para microorganismos particulares han encontrado un amplio valor y uso común. Pero el abuso de ellos, por ejemplo los antibióticos hacen resistentes a las bacterias en comparación con sus antepasados de hace varios años.

h) *Sensibilidad de bacteriófagos.*

La dactilografía de bacterias de tipo fago son estudiadas por un gran número de investigadores. El alto índice de infecciones por staphilococcus ha provocado interés en los estudios epidemiológicos de tales brotes y en estos casos son invaluable los esquemas dactilográficos de las bacterias de este tipo, como por ejemplo el fago RG staphylococcal, el cual tiene un grado razonable de especificidad a nivel de especie. La dactilografía de las bacterias es en contadas excepciones aplicables sólo al nivel subespecie por lo que es de poco valor en las investigaciones rutinarias.

i) *Diagnóstico de virus.*

Los virus, al menos de origen animal pueden ser diagnosticados con frecuencia en una o mas de tres maneras i) al microscopio examinando un frotis o sección de la presencia de los efectos citopáticos del virus; ii) por inoculación en cultivos de tejidos, en huevos fértiles o animales experimentales, y iii) serológicamente.

j) *Cromatografía.*

La principal desventaja de esta técnica es la necesidad de tener cultivos puros. Para propósitos taxonómicos es una técnica muy útil, ya que se han hecho estudios de la composición de la pared celular, analizando las hidrolasas para aminoácidos y contenido de azúcares. Se ha observado que la técnica es de bastante utilidad en la distinción de cepas teniendo grandes diferencias bioquímicas que en aquellas las cuales son similares (Stenson and Roberson, 1961). También se han hecho estudios en la naturaleza de los ácidos grasos extraíbles de las bacterias (Asselineau, 1961), donde se observó que es aplicable a la identificación del género del microorganismo.

k) *Espectroscopía.*

La espectroscopía de ultravioleta desafortunadamente no tiene mucho valor en los trabajos microbiológicos porque los microorganismos contienen una alta concentración de purina y pirimidina. Usando la técnica de infrarrojo a bacterias, virus y extractos celulares en un intervalo de longitud de onda entre 1-16 μ . Sin embargo, ciertas bacterias no pueden distinguirse ya que las bandas de absorción son comunes para muchos microorganismos.

l) *Acidos nucleicos.*

Aunque este método ha sido exitoso, no ha sido lo suficientemente preciso para distinguir similitudes superficiales de organismos o en la determinación filogenética entre grupos bacterianos. Las ventajas ganadas por clasificaciones fundamentales en genomas no relacionados son las siguientes i) un concepto más unificado de una especie bacteriana; ii) la clasificación fundamentada en genomas no relacionados no tienden a ser sometidos a cambios frecuentes o radicales; iii) confiabilidad en los esquemas de identificación, preparados después de la clasificación de los organismos en base a los genomas no relacionados, y iv) la información obtenida, útil para el entendimiento de la evolución de varios grupos bacterianos y como pudieron adaptarse de acuerdo a sus ancestros.

En la investigación del proceso de digestión anaeróbico aplicado a los lodos municipales, industriales y parcialmente digeridos se tenía programado identificar algunas bacterias por cromatografía, proceso que no llegó a concluirse debido a que no se contó con todo el equipo en el momento y a su lento crecimiento. A continuación se mencionan las características

taxonómicas de las bacterias que se poseen.

7.2. Taxonomía de los microorganismos.

Además de los procariotes normales (eubacterias) y los eucariotes, las arqueobacterias representan la tercer línea descendiente en la evolución de la vida, definición basada en la comparación secuencial del ácido ribonucleico ribosomal (rARN). Algunas especies como las arqueobacterias metanogénicas y extremadamente halofílicas se conocen desde hace mucho tiempo, pero su excepcional posición filogenética no había sido reconocida (König y Stetter, 1989).

Las arqueobacterias son microorganismos terrestres y acuáticos que aparecen en ambientes cálidos anaeróbicos, hipersalinos, hidrotérmicos y geotérmicos; también se pueden encontrar como simbioses en el tracto digestivo animal. Gran parte son microorganismos aerobios, anaerobios y anaerobios facultativos que crecen quimiolitioautotrófica y organotróficamente y se desarrollan en ambientes mesofílicos y termofílicos, donde hay especies que crecen a más de 100°C. Las arqueobacterias parten de algunas características moleculares con los eucariotes (König y Stetter, 1989).

A continuación se muestran los nuevos datos filogenéticos aplicados a las arqueobacterias de acuerdo al *orden* establecido:

- I) *Arqueobacterias metanogénicas*. Son células capaces de formar metano como producto metabólico final predominante. Los sustratos más comunes son H_2 - CO_2 , formiato, acetato, metanol, metilaminas o H_2 -metanol. El S^0 puede ser reducido a H_2S sin ganancia energética; son anaerobias estrictas; producen epifluorescencia azul-verdosa cuando son excitados a 420 nm. Las células poseen coenzima M, factor 420, factor 430 y metanopterina. Su ARN polimerasa es del tipo AB'B''C.
- II) *Arqueobacterias sulfato reductoras*. Son células capaces de formar H_2S de sulfato por reducciones diferentes a las conocidas, además forman metano en proporciones traza; son

extremadamente termofílicas (crecen arriba de 92°C); son anaerobias estrictas; producen fluorescencia azul-verdosa a 420 nm bajo microscopio UV. Las células solo poseen factor 420 y metanopterina. Su ARN polimerasa es del tipo (A+B)B'B''.

- III) *Arqueobacterias extremadamente halofílicas*. Son células Gram positivas o negativas, quimiorganótrofas aeróbicas o anaeróbicas facultativas; tienen forma de bastones regulares a bastante irregulares; requieren altas concentraciones de cloruro de sodio (arriba de 1.5 M); son neutrofílicas o alcalofílicas; son mesofílicas con tendencias termofílicas (arriba de 55°C). Su ARN polimerasa es del tipo AB'B''C. Algunas especies contienen bacteriorodopsina y son capaces de usar la luz para sintetizar ATP.
- IV) *Arqueobacterias con poca pared celular*. Células coccus termoacidofílicas con una débil envoltura celular, la membrana celular contiene una glicoproteína rica en manosa y un lipoglucano; son aeróbicas. Su ARN polimerasa es del tipo BAC.
- V) *Arqueobacterias extremadamente termofílicas y metabolizadoras de S⁰*. Son bacterias termofílicas obligadas, aeróbicas, aeróbicas facultativas o anaeróbicas estrictas. Son bastones Gram-negativos, filamentosos o coccus, que tienen una temperatura de crecimiento óptima entre 70 y 105°C. Son acidofílicas o neutrofílicas, autótrofas o heterótrofas; muchas especies metabolizan el azufre. Su ARN polimerasa es del tipo BAC.

A su vez cada uno de los grupos mencionados está formado por órdenes, éstos por familias, estas por géneros y por último los géneros indican las especies existentes (esto se conoce como categorías taxonómicas), estas clasificaciones se pueden observar en el anexo A, tabla A.1. (Staley, 1989).

De la tabla taxonómica de las arqueobacterias se observa que las bacterias con las que se cuenta son del grupo metanogénicas, de los órdenes Methanobacteriales, Methanoccales y Methanomicrobiales. Del primer orden, de la familia Methanobacteriaceae, del género *Methanobacterium* la especie seleccionada fue la *M. formicicum*; del mismo primer orden y

familia, pero del género *Methanobrevibacter* la especie seleccionada fue la *M. arboriphilicus*. Del segundo orden Methanoceales, de la familia Methanococcaceae, del género *Methanococcus*, la especie seleccionada fue la *M. vannielii*. Del tercer orden de la familia Methanomicrobiaceae, del género *Methanospirillum*, la especie seleccionada fue *M. hungatei*; finalmente del mismo orden, pero de la familia Methanosarcinaceae del género *Methanosarcina*, la especie seleccionada fue la *M. barkeri*. Las características de las especies con las que se contó en el laboratorio de trabajo se muestran a continuación (König y Stetter, 1989).

1. *Methanobacterium formicicum* (DSM 1312). Son células de forma de bastón delgados, encorvados y con las terminaciones romas y cilíndricas, frecuentemente se encuentran en forma de cadenas o filamentos; miden 0.4-0.8 μm de ancho por 2-15 μm de largo. Cada cepa tiene un diámetro relativo constante, pero su longitud puede variar; son inmóviles y no forman endosporas. Estos organismos tienen fimbrias y elementos membranosos intracitoplasmáticos.

La superficie de las colonias son blancas a grises, extendidas y filamentosas. Las colonias profundas son esferoides y con abundantes filamentos. En tubos con $\text{H}_2\text{-CO}_2$ como sustrato, las colonias aparecen después de 3-5 días, pero su crecimiento completo se presenta a las 2 semanas, alcanzando un diámetro superior a los 5 mm. El aspecto del cultivo líquido depende de la cepa, por lo que el medio puede ser uniformemente turbio o puede aparecer como una gran masa granular la cual no se rompe con agitación vigorosa. Algunas cepas pueden ser autótroficas usando el acetato y la cisteína como sustrato.

Habitat: hay numerosas colonias en digestores anaerobios o sedimentos aneróbicos de aguas frescas; también en el rumen del ganado vacuno o como endosimbionte en protozoarios anaeróbicos, pero en menor cantidad.

La composición % mol de G+C (guanina mas citocina) del ADN es 41-42 (Bd). Los tipos de cepas propuestos son MF (DSM 1535) y MS1.

2. *Methanobrevibacter arboriphilicus* (DSM 744). En los cultivos puros con frecuencia se encuentran cuatro cepas las cuales son DH1 (DSM 1125), DC (DSM 1536), AZ (DSM 744), y A2 (DSM 2462). Sus características fisiológicas son una composición % mol de G+C de ADN (Bd) de 25.7, 27.7, 31.6 y 29.6 respectivamente; utilizan como fuente energética el H₂ y CO₂ y solo la cepa A2 utiliza el formiato.

Las *M. arboriphilicus* DH1 son células que crecen en cultivo líquido son bastones cortos con terminaciones cilíndricas; miden 0.5 µm de ancho por 1.2-1.4 µm de largo, algunas células pueden tener sus extremidades ligeramente truncas y aparecen solas o en pares. En el medio de agar las células son elongadas 12 veces su longitud de crecimiento que en medio líquido. En este último, tiende a formar una masa compacta y no es fácil de dispersar con agitación vigorosa, incluso usando el vortex. Son células Gram-positivas e inmóviles y parece estar ausente su flagelo. Las células AZ tienen un solo flagelo polar.

La superficie de las colonias en medio agar orgánico complejo en tubos con H₂ y CO₂ en fase gaseosa son bastante completas, difusas, filamentosas y cremosas de color blanco a amarillo o café oscuro. Las colonias adultas no exceden los 5 mm de diámetro.

El dióxido de carbono es el principal y única fuente posible de carbono, sin embargo requieren una o más vitaminas del tipo B. El crecimiento es estimulado por tripticasa, extracto de levadura y fluido de rumen; es inhibido en medio 1 modificado el cual contiene 2% de oxgall y 0.1% de deoxicolato de sodio. La formación de metano a partir de H₂ y CO₂ por una suspensión de células de cepa AZ es dependiente del ion sodio. Hay crecimiento de la cepa A2 con formiato como única fuente de energía. Las otras cepas no usan formiato como fuente de energía. Los extractos DH1 oxidan el CO con reducción de bencilo viologen, pero no puede ser sustituido por H₂ como donador de electrones para la reducción de CO a CH₄. Las cepas DH1 y AZ sintetizan coenzima M; la primera contiene corrinóide y la segunda tiene un bajo contenido de poliamina.

La cepa DH1 es inhibida por cloranfenicol y ansiomicina (2 µg/ml). El bacitracin,

gardimicin, enduracidin, cloranfenicol, gentamicin y lasalocid son antibióticos que producen zonas de inhibición (13-23 mm) a la cepa AZ.

3. *Methanococcus vannielii* (DSM 1224). Son células en forma de coccus irregulares, con un diámetro promedio de 1 μm ; son autotróficas, usando como sustratos el H_2 mas CO_2 o formiato; su crecimiento es estimulado por el selenio, utilizan el sulfuro y el S^0 como fuente de azufre y al amoniaco como fuente de nitrógeno. Su temperatura óptima es entre 35-40 $^\circ\text{C}$ y su pH óptimo es entre 7-9.

La composición % mol de G+C del ADN es 31-33 (Bd y cromatografía líquida). El tipo de cepa propuesto es SB (DSM 1224).

4. *Methanosarcina barkeri* (DSM 800). Son cuerpos coccoides de 1.5-2.0 μm de diámetro, aparecen en agregados irregulares de unos cuantos a varios cientos μm de tamaño. Contienen membrana isoprenoide C_{25} como principal lípido neutral, pero no isoprenoides C_{30} . Son cepas Gram-positiva e inmóviles, y son disueltas o destruidas por SDS.

Las colonias profundas en agar metanol con sales inorgánicas son blancuzcas a ligeramente amarillas con un diámetro de 0.5-1.0 μm ; en medio líquido aparecen como un sedimento con formación de gas.

Su metabolismo productor de energía involucra la producción de metano; los sustratos usados pueden ser H_2 - CO_2 , metanol, metilamina, dimetilamina, trimetilamina, acetato y CO . El grupo metilo de metanol o acetato es reducido a metano sin oxidación intermedia a CO_2 . No pueden fermentar los carbohidratos, aminoácidos, formiato, etanol, propionato y butirato.

Utilizan como fuente de N_2 al amoniaco incluso fijan al N_2 y como fuente de azufre al sulfuro. El crecimiento y formación de metano es muy rápido en un medio con H_2 - CO_2 o metanol que con acetato. Su crecimiento óptimo es obtenido a pH 7.0 y a 30-40 $^\circ\text{C}$, con

medio estrictamente anaerobio. Su habitat son los fangos de aguas frescas y marinas, rumen de ungulados, lagunas con desechos animales y en lodo residual de digestores anaerobios.

La composición % mol de G+C del ADN es 39-44 (Bd). El tipo de cepa propuesto es MS (DSM 800; ATCC 43569) la cual fue aislada de un enriquecimiento de butirato derivado de un digestor anaeróbico de lodos residuales. 227 (DSM 1538; ATCC 43567) y UBS (DSM 1311).

5. *Methanospirillum hungatei* (DSM 864). Son células en forma de bastones simétricos curvos de 0.4-0.5 por 7.4-10 μm , generalmente forman filamentos ondeantes de 15 a varios cientos de μm de longitud; son Gram-negativas, poseen movilidad a través de un flagelo polar en el penacho. Su temperatura óptima esta entre los 30-37 °C. Su nutrición es autotrófica a heterotrófica, usando como sustratos el formiato o el H_2 , para su crecimiento y proceso de metanogénesis. Se han encontrado dos tipos de cepas la JF-1 y la GP1. La composición % mol de G+C del ADN es 45 (Bd) y 46.5-49.5 (Td). Los tipos de cepas son ATCC 27890 y DSM 864.

8. Técnicas experimentales

* AGV's

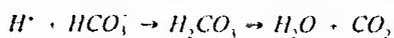
El AGV es la suma de los ácidos grasos volátiles en el lodo expresado como miliequivalente por litro (meq/l). Los ácidos grasos volátiles son producidos por las bacterias fermentativas y son el alimento para las bacterias productoras de metano.

Grandes niveles de concentración de los AGV's en el efluente del digestor son indicadores de que las bacterias metanogénicas no pueden mantener una relación equilibrada con las bacterias acidogénicas en la transformación del material biodegradable del lodo y en consecuencia el reactor se esta acidificando (fermentando).

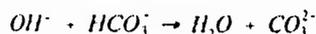
* Alcalinidad

La alcalinidad (por bicarbonatos) es una medida de la capacidad amortiguadora del lodo y es expresado como miliequivalentes por litro. La capacidad amortiguadora del ion bicarbonato puede ser mostrada como sigue, mediante estas reacciones del ión bicarbonato disminuirán los cambios en el pH.

- a. Con ácido el bicarbonato absorberá un ión hidronio y liberará dióxido de carbono de la solución. La ecuación es:

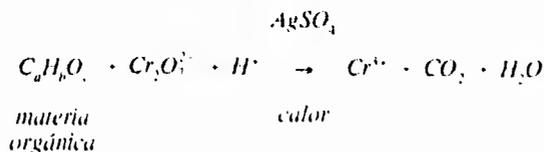


- b. Con una base el ión bicarbonato absorberá el ión hidroxilo para producir el ión carbonato y agua. La ecuación es:



* DQO

Este parámetro se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante, como el dicromato de potasio en medio ácido a temperatura elevada. Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se utiliza un catalizador como el sulfato de plata. La reacción principal se puede representar de una manera general como sigue:



Este parámetro se utiliza en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida microbológica.

* Metano

La producción de metano esta directamente relacionado al DQO removido y es dependiente de la temperatura, porque los cambios de volumen del gas son considerables con el cambio de temperatura como se muestra en la tabla 8.1 (Biothane, 1987).

Los valores elevados de producción de metano indican la conversión de sólidos orgánicos a biogás. El biogás producido consiste de un alto porcentaje de metano (60-90%), menores cantidades de bióxido de carbono (5-35%), vapor de agua y algo de nitrógeno, ácido sulfhídrico y otros constituyentes traza.

TABLA 8.1. Relación entre el metano producido y DQO_{removido} a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Producción de metano (m ³ CH ₄ / Kg DQO _{removido})
0	0.33
20	0.36
30	0.37

El contenido de metano en el biogás es un indicador muy confiable en la salud de los lodos. La disminución de esta proporción puede ser la primer señal de aviso de que se está efectuando el proceso de fermentación del contenido del digestor, o de que hay una variación brusca del pH, o de que algunos agentes químicos estan afectando la actividad de las bacterias metanogénicas.

* Sólidos

Se pueden determinar diferentes tipos de sólidos, los más comunes son:

- Los sólidos totales que analíticamente se definen como toda la materia que queda como residuo de la evaporación del agua entre 103 a 105 °C. La materia que tiene una presión de vapor semejante a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido. Los sólidos totales pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.
- La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un cono Imhoff durante una hora. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.
- La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y sólidos disueltos. La fracción coloidal está compuesta por partículas con diámetro entre 0.001 y 1 μm . Los sólidos disueltos se componen de iones y moléculas orgánicas e inorgánicas que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua.

Cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo en base a su volatilidad a 600 °C. La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. El análisis de los sólidos volátiles se aplica con frecuencia a lodos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

* pH

El pH indica la acidez o basicidad del agua residual. El pH óptimo para las bacterias formadoras de metano es aproximadamente 7.2: Sin embargo, son aceptables los niveles de fluctuación entre 6.6 a 7.8 dentro del digestor para poder mantener un proceso estable.

* Temperatura

La temperatura tiene un impacto directo en la actividad microbiológica del lodo y debe ser controlada. La temperatura óptima para la digestión mesoflica es aproximadamente 35 °C.

aunque una buena actividad de la biomasa puede ser mantenida dentro del intervalo de 30 a 37°C. A bajas temperaturas la actividad del lodo disminuye a pesar de que las bacterias no son dañadas, a temperaturas altas sin embargo, tienen un efecto destructivo sobre las enzimas bacterianas y causan un cambio irreversible en su actividad.

* Potencial bioquímico de metano

El potencial bioquímico de metano es una medida de la biodegradabilidad de una muestra, cuyas unidades son $\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{Kg DQO}_{\text{removido}}$.

* Alcalinidad por bicarbonatos

La alcalinidad por bicarbonatos debe ser mantenida dentro del intervalo de 1000 mg/l a 5000 mg/l como CaCO_3 , para estar dentro del pH de control adecuado. Para determinar la alcalinidad por bicarbonato, se deben medir las concentraciones de ácidos volátiles y alcalinidad total (McCarty, 1964).

III. METODOLOGIA

1. Técnica general del bioensayo anaerobio

El primer paso fue planear el calendario de trabajo con base en los tiempos de retención (TR) seleccionados en cada reactor, estos se muestran en el siguiente cuadro.

No. DE MTRA.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TR	1	3	5	6	7	8	9	10	12	15	18	21	23	30

Se decidió tener dos reactores para los tiempos de retención críticos, es decir del 5o al 10o día, y los restantes solo uno. Utilizando el criterio del nuevo reglamento de la EPA, que dice que para efectuar un estudio experimental, se realiza un análisis de las muestras a partir de las cuales 25% se efectúa por duplicado y 75% sencilla (MOP, 1990).

Posteriormente se realizaron las tomas de lodo respectivas, una en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chapultepec, otra en la Planta de Tratamiento de ECCACIV y otra más en la Fosa Séptica del IMTA. El lodo se mantuvo en refrigeración a 4 °C durante el periodo experimental.

Por último se montaron y prepararon los reactores para realizar los bioensayos.

El grado de biodegradabilidad se midió a partir de los siguientes factores:

PARAMETROS A MEDIR	INFLUENTE	EFLUENTE
AGV'S		SI
ALCALINIDAD		SI
DQO	SI	SI
METANO		SI
ST, STV, STF	SI	SI
SST, SSV, SSF	SI	SI
PORCIENTO DE AGUA	SI	SI
PORCIENTO DE SOLIDOS	SI	SI

El montaje y preparación de los reactores para los bioensayos se efectuó de la siguiente manera:

1. En una botella de suero de color ambar con 250 ml de capacidad, se introdujo un volumen de 120 ml de lodo fresco a temperatura ambiente. De acuerdo a la experiencia adquirida en proyectos anteriores, la temperatura del lodo se estabilizó dejándolo dos horas a temperatura ambiente, para evitar el choque térmico con el inóculo que estaba a una temperatura de 35 °C.
2. Enseguida se adicionaron 30 ml de inóculo. Se usó una proporción de lodo fresco e inóculo de 0.8:0.2 (Eckenfelder, 1966).
3. Se procedió a sellar el frasco con tapón de clorobutilo y sello de aluminio. El bioensayo una vez sellado se montó sobre una mesa agitadora con movimientos circulares.
4. Al mismo tiempo, el bioensayo se conectó a una botella de suero de 500 ml de capacidad cuyo contenido era una solución de NaOH al 15 %, la botella estaba invertida para medir el biogás producido por desplazamiento de la solución de NaOH, mediante agujas y tubos de plástico de 4 mm de diámetro. Observar la fig. 1.

5. Para medir el biogás producido, el frasco con sosa se conectó a una probeta que captaba el volumen desplazado por el metano.

La medición de biogás se efectuó diariamente y al finalizar el tiempo de retención del bioensayo se sumaron todas las lecturas para cada uno de los sistemas.

El procedimiento se realizó para todos los bioensayos y para los tres diferentes lodos problema. Cabe señalar que se trabajó al inicio con los reactores de mayor tiempo de retención (TR) y se continuo ordenándolos de manera que no se juntaran mucho los análisis el día de su finalización.

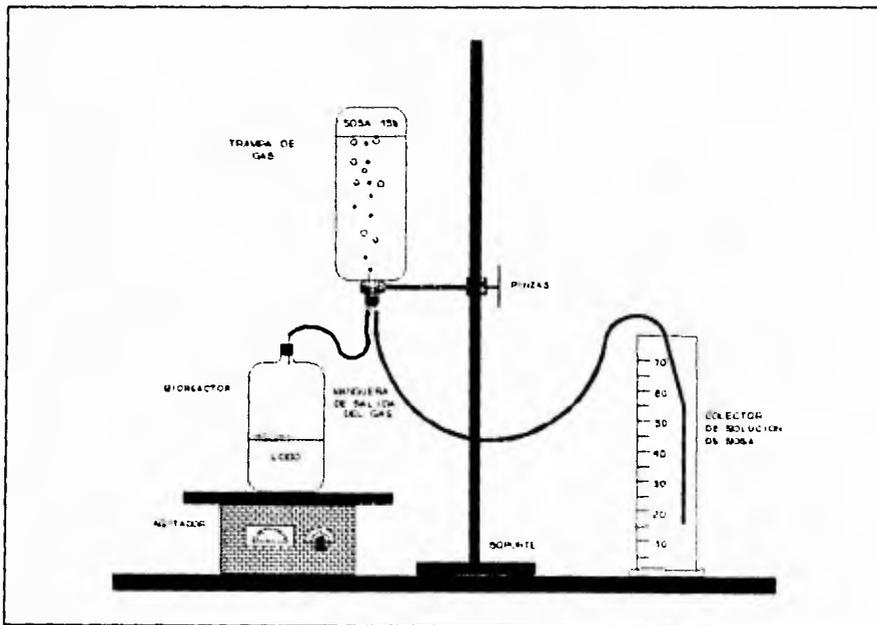


FIG. III.1. Esquema de las pruebas de tratabilidad.

2. Técnicas experimentales

Los procedimientos experimentales para determinar los parámetros establecidos fueron los que a continuación se muestran.

- * AGV's se siguió el procedimiento del método 5560 C determinación de ácidos grasos volátiles por destilación, del Standard Methods, 18a edic.
- * Alcalinidad se basó en el método 201 determinación de acidez y alcalinidad, del Standard Methods, 15a edic. En este caso se efectuó una modificación que consistió en una dilución del lodo 0.1 % v/v, la cual se centrifugó a 5000 rpm durante 5 min; y a el sobrenadante se le trató como indica el procedimiento.
- * DQO esta prueba se basó en el método 8 000 de Hach y Moeller, 1990. La modificación fué una dilución de 0.02 % v/v para los lodos municipal y de fosa séptica, para el industrial fué de 0.01 % v/v, las cuales fueron tratadas como indica el procedimiento.
- * Metano se siguió la metodología establecida en el experimento de Eckenfelder, 1966.
- * Sólidos usando el método 224 del Standard Methods, 15a edic. se determinaron los sólidos totales (ST); para los sólidos suspendidos mediante una dilución del 1 % v/v, se siguió el procedimiento establecido. El porcentaje de humedad y de sólidos se determinó siguiendo la técnica propuesta por Vesilind, 1980.

3. Técnicas para cultivo de microorganismos anaerobios

1. En primer lugar se conocen cada uno de los microorganismos con los que se van a trabajar, para identificar el medio en el que viven y el sustrato correspondiente.
2. Se prepara el medio (ver más adelante) bajo condiciones de anaerobiosis, después se reduce el medio y se vierten en recipientes (tubos de ensaye o frascos de suero) perfectamente sellados, se esterilizan dejándolos listos para ser usados.
3. Las bacterias con las que se trabajaron el medio incluía sulfuro de sodio el cual se adicionó momentos antes de inocular. De la misma manera se hizo con aquellas bacterias que requerían un sustrato específico.
4. La inoculación se efectúa junto al mechero, bajo corriente de nitrógeno y con jeringas estériles. Según el volumen de medio a utilizar para el crecimiento bacteriana, el volumen del inóculo deberá ser de 10 % v/v.
5. Para algunas bacterias su sustrato es hidrógeno y dióxido de carbono en una proporción de 80:20, y como es gas se adiciona después de la inoculación.
6. Las muestras se dejan en la incubadora a 35 °C y su crecimiento se sigue por producción de metano registrado por cromatografía con detector de conductividad térmica. Si se trata de 5 ml se revisará cada tercer día; si se trata de un volumen 60 y 150 ml entonces revisar cada semana.
7. Una vez alcanzada la concentración molecular deseada (en éste caso 10 mM) se efectúa el experimento deseado o se sigue reinoculando para continuar la proliferación de la cepa.

Preparación de medios para cultivos anaerobios.

* 119. Methanobacterium medium

KH ₂ PO ₄	0.5 g
MgSO ₄ X 7 H ₂ O	0.4 g
NaCl	0.4 g
NH ₄ Cl	0.4 g
CaCl ₂ X 2 H ₂ O	0.05 g
FeSO ₄ X 7 H ₂ O	0.002 g
Solución de elementos traza SL-10 (ver medio 320)	1.0 ml
Extracto de levadura	1.0 g
Acetato de sodio	1.0 g
Formiato de sodio	2.0 g
Fluido de lodo (ver abajo)	60.0 ml
NaHCO ₃	4.0 g
Mezcla de ácidos grasos (ver abajo)	20.0 ml
Resazurina	0.001 g
Cisteína hidrociorada	0.5 g
Na ₂ S x 9 H ₂ O	0.5 g
Agua destilada	940.0 ml

Ajustar el pH a 6.7-7.0. Preparar el medio anaerómicamente bajo una atmósfera de gas 80 % H₂ y 20 % CO₂.

Fluido de lodo:

Adicionar 0.4 % de extracto de levadura al lodo de un digestor anaerobio, y después gasificarlo con nitrógeno gaseoso por unos cuantos minutos e incubarlo a 37 °C por 24 horas. Luego centrifugar el lodo a 13000 xg y esterilizar en autoclave el producto, decantar el sobrenadante bajo corriente de N₂. El fluido de lodo puede ser almacenado a temperatura ambiente en la oscuridad.

Mezcla de ácidos grasos:

Acido valérico	0.5 g
Acido isovalérico	0.5 g
Acido 2-metilbutírico	0.5 g
Acido isobutírico	0.5 g
Agua destilada	20.0 ml

Ajustar el pH a 7.5 con NaOH concentrado.

Solución de elementos traza SL-10:

HCl (25%; 7.7 M)	10.0 ml
FeCl ₂ X 4 H ₂ O	1.5 g
ZnCl ₂	70.0 mg
MnCl ₂ X 4 H ₂ O	100.0 mg
H ₃ BO ₃	6.0 mg
CoCl ₂ X 6 H ₂ O	190.0 mg
CuCl ₂ X 2 H ₂ O	2.0 mg
NiCl ₂ X 6 H ₂ O	24.0 mg
Na ₂ MoO ₄ X 2 H ₂ O	36.0 mg
Agua destilada	990.0 ml

Primero disolver FeCl₂ en el HCl, luego diluir en agua, adicionar y disolver las otras sales. Finalmente aforar a 1000.0 ml.

* 120. Methanosarcina medium

K ₂ HPO ₄	0.348 g
KH ₂ PO ₄	0.227 g
NH ₄ Cl	0.5 g
MgSO ₄ X 7 H ₂ O	0.6 g
CaCl ₂ X 2 H ₂ O	0.25 g
NaCl	2.25 g
FeSO ₄ X 7 H ₂ O	0.002 g
Solución de vitaminas (ver medio 141)	10.0 ml
Solución de elementos traza SL-10 (ver medio 320)	1.0 ml
Extracto de levadura (Difco)	2.0 g
Casitone (Difco)	2.0 g
Resazurina	0.001 g
NaHCO ₃	0.85 g
Metanol	10.0 ml
Cisteína hidrociorada	0.3 g
Na ₂ S x 9 H ₂ O	0.3 g
Agua destilada	1000.0 ml

El medio es preparado anaerómicamente bajo una atmósfera de 80 % N₂ + 20 % CO₂. El metanol (50 % v/v) y los agentes reductores son esterilizados separadamente bajo atmósfera de N₂ como solución concentrada en tubos perfectamente cerrados. Un volumen apropiado de las soluciones del medio son inyectadas dentro de la parte principal de la autoclave con jeringas hipodérmicas. El pH del medio completo debe estar entre 6.5-6.8.

* 141. Methanogenium medium

KCl	0.335 g
MgCl ₂ X 6 H ₂ O	4.0 g
MgSO ₄ X 7 H ₂ O	3.45 g
NH ₄ Cl	0.25 g
CaCl ₂ X 2 H ₂ O	0.14 g
K ₂ HPO ₄	0.14 g
NaCl	18.0 g
Elementos traza (ver abajo)	10.0 ml
Solución de vitaminas (ver abajo)	10.0 ml
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ X 7 H ₂ O	2.0 mg
NaHCO ₃	5.0 g
Na-acetato	1.0 g
Extracto de levadura (Difco)	2.0 g
Tripticasa (BBL.)	2.0 g
Resazurina	1.0 mg
Cisteína hidrociorada	0.5 g
Na ₂ S x 9 H ₂ O	0.5 g
Agua destilada	1000.0 ml

Preparar el medio anaeróticamente bajo atmósfera 80% H₂ + 20% CO₂. Para incubar usar la misma mezcla de gases a dos atmósferas de presión. Si el medio es usado sin sobrepresión de la mezcla gaseosa, luego ajustar el pH con un poco de ácido clorhídrico. El pH final debe ser de 7.0 para las cepas DSM 1497, DSM 1537, DSM 2067, DSM 2279 y DSM 2373; 6.8 para la cepa DSM 2095 y 6.5 para la cepa DSM 1498. Para DSM 2373 incrementar la cantidad de tripticasa a 6.0 g/l.

* Solución de elementos traza:

Acido nitrilotriacético	1.5 g
MgSO ₄ X 7 H ₂ O	3.0 g
MnSO ₄ X 2 H ₂ O	0.5 g
NaCl	1.0 g
FeSO ₄ X 7 H ₂ O	0.1 g
CoSO ₄ X 7 H ₂ O	0.18 g
CaCl ₂ X 2 H ₂ O	0.1 g
ZnSO ₄ X 7 H ₂ O	0.18 g
CuSO ₄ X 5 H ₂ O	0.01 g
KAl(SO ₄) ₂ X 12 H ₂ O	0.02 g
H ₃ BO ₃	0.01 g
Na ₂ MoO ₄ X 2 H ₂ O	0.01 g
NiCl ₂ X 6 H ₂ O	0.025 g
Na ₂ SeO ₃ X 5 H ₂ O	0.3 mg
Agua destilada	1000.0 ml

Primero disolver el ácido nitrilotriacético y ajustar el pH a 6.5 con KOH, luego adicionar los otros minerales. El pH final debe ser 7.0 (ajustar con KOH).

* Solución de vitaminas:

Biotina	2.0 mg
Acido fólico	2.0 mg
Piridoxina-HCl	10.0 mg
Tiamina-HCl	5.0 mg
Riboflavina	5.0 mg
Acido nicotínico	5.0 mg
DL-Pantotenato de calcio	5.0 mg
Vitamina B ₁₂	0.1 mg
Acido p-aminobenzoico	5.0 mg
Acido lipoico	5.0 mg
Agua destilada	1000.0 ml

* MEDIO DE BALCH

Solución mineral No. 1 (Balch et al)	40.0 ml
Solución mineral No. 2 (Balch et al)	40.0 ml
Solución de vitaminas	10.0 ml
Solución de oligoelementos	10.0 ml
Solución de NiCl ₂ (5 mg/l)	10.0 ml
Solución de FeSO ₄ ·7H ₂ O (0.2 %)	1.0 ml
Resazurina (0.1 %)	1.0 ml
NaHCO ₃	2.0 g
Acetato de sodio (3 H ₂ O)	8.0 g
Extracto de levadura	1.0 g
Peptona de caseína	1.0 g
Agua destilada aforar a	1000.0 ml

Hervir unos minutos el medio bajo una corriente de nitrógeno, después cuando el medio está tibio agregar 0.5 g/l de cisteína. Si se requiere un medio sólido agregar 15 g/l de agar noble. Se reparte en proporciones de 5 ml de medio por tubo, en los frascos de suero de 125 ml se reparte en 40 ml por frasco. La atmósfera es de N₂-CO₂ (80:20) 1 atm. Al momento de inocular agregar 0.1 ml de solución de Na₂S al 2.5 %, para los tubos (5 ml de medio) o 0.1 ml de una solución al 20 % en los frascos serológicos. Este mismo medio sirve para NMP.

Solución mineral No. 1:

K ₂ HPO ₄	6.0 g
Agua destilada aforar a	1000.0 ml

Solución mineral No. 2:

KH ₂ PO ₄	6.0 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	6.0 g
NaCl	12.0 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2.6 g
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.16 g
Agua destilada aforar a	1000.0 ml

Solución de vitaminas:

Biotina	2.0 mg
Acido fólico	2.0 mg
Piridoxina HCl	10.0 mg
Tiamina HCl	5.0 mg
Riboflavina	5.0 mg
Acido nicotínico	5.0 mg
DL-pantotenato de calcio	5.0 mg
Vitamina B ₁₂	0.1 mg
Acido p-aminobenzoico	5.0 mg
Acido lipoico	5.0 mg
Agua destilada aforar a	1000.0 ml

Conservar a 4 °C y proteger de la luz.

Solución de oligoelementos:

Disolver 1.5 g de ácido nitrilotriacético con KOH hasta un pH de 6.5 después agregar los siguientes minerales:

MgSO ₄ .7H ₂ O	3.0 g
MgSO ₄ .2H ₂ O	0.5 g
NaCl	1.0 g
FeSO ₄ .7H ₂ O	0.1 g
CoSO ₄ o CoCl ₂	0.1 g
CaCl ₂ .2H ₂ O	0.1 g
ZnSO ₄	0.1 g
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.01 g
ΔK(SO ₄) ₂	0.01 g
H ₃ BO ₃	0.01 g
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.01 g

Conservar a temperatura de 4 °C.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos experimentales que se obtuvieron siguiendo la metodología señalada con anterioridad fueron de una manera cruda, por lo que posteriormente se les dio un tratamiento matemático, como lo indica la literatura, para obtener los parámetros mostrados en el anexo B. Se presentan en forma de tablas y en función a los tiempos de retención (TR) utilizados en el experimento, también se muestran figuras donde se graficaron cada uno de los parámetros en función del TR para observar como actúa el proceso en estudio para cada lodo problema.

El orden de las tablas con sus respectivas figuras, en los cuales se mencionan a continuación los valores mínimos y máximos del efluente de cada uno de los parámetros para cada tipo de lodo es el siguiente:

1. *Acidos grasos volátiles (AGV's).*

De los resultados se puede mencionar que para el lodo *municipal* se encontró un valor mínimo de 577 mg/l a los 15 días de retención y un máximo de 4,211 mg/l a los 30 días. Para el lodo *industrial* el mínimo fue a los 9 días con un valor de 1,990 mg/l y el máximo a los 30 días con 5,272 mg/l. Por último para el lodo *parcialmente digerido* el mínimo fue de 107 mg/l a los 18 días y el máximo con 1,840 mg/l a los 21 días de retención.

2. *Alcalinidad*

De este parámetro se encontraron los siguientes mínimos 417 mg/l a los 15 días, 3,156 mg/l a los 7 días, 1,568 mg/l a los 10 días y como máximos 3,623 a los 9 días, 9,750 a los 15 días y 4,216 mg/l a los 12 días para los lodos *municipal*, *industrial* y *pretratado* respectivamente.

3. *Demanda química de oxígeno (DQO)*

Respecto a los valores de este parámetro se encontraron que los mínimos fueron 13,040 mg/l a los 21 días, 39,339 mg/l a los 7 días, 20,546 mg/l a los 21 días y los máximos de 35,524 a los 30 días, 56,743 a los 23 días y 33,274 mg/l a los 18 días respectivamente para los lodos *municipal, industrial y pretratado*.

4. *Metano (CH₄)*

Los valores mínimos de este parámetro son de 31.4 ml, 30.4 ml, 17.8 ml los cuales se presentaron todos el primer día de retención; los valores máximos fueron 6,278.2 ml a los 23 días, 2,379.2 ml y 2,463.2 ml para los 30 días de retención los cuales fueron para los lodos *municipal, industrial y pretratado* respectivamente.

5. *Sólidos*

De estos parámetros se midieron 7 diferentes tipos y el porcentaje de humedad, aquí solo se mencionarán los valores mínimos y máximos de los sólidos suspendidos volátiles los cuales fueron de 4,200 mg/l a los 15 días y 16,517 mg/l a los 10 días de retención para el lodo *municipal*; de 9,100 mg/l a los 8 días y 30,250 mg/l a los 10 días para el lodo *industrial*; 6,941 mg/l a los 8 días y 34,229 mg/l a los 7 días para el lodo *parcialmente digerido*.

Es importante indicar que en los resultados se analizan y discuten en el siguiente capítulo y también que el orden en que se colocaron los datos de los lodos (sin haber dado preferencia a alguno en especial) fue el siguiente:

- I. *Lodo municipal*
- II. *Lodo industrial*
- III. *Lodo parcialmente digerido* (también nombrado en algunos momentos como *pretratado o de fosa séptica*)

Respecto a los microorganismos se manejará la concentración aproximada de metano, producido por cada cepa en sus diferentes etapas de proliferación. Las cepas se reinocularon en las siguientes fechas (ver tabla B.4. del anexo B):

- Mayo 4 de 1994 en tubos de ensaye, volumen de 5 ml de medio de Balch, medio 119 (methanobacterium medium), medio 120 (methanosarcina medium) y medio 141 (methanogenium medium). Hasta alcanzar una concentración igual o mayor a 10 mM. Cabe señalar que las determinaciones seguidas fueron en la verificación de la adaptación en el medio de Balch.
- Agosto 11, las bacterias que crecieron en la etapa anterior se reinocularon en un volumen de 20 ml de medio de Balch y su desarrollo se siguió por la producción de metano.
- Octubre 7 de 1994, se reinocularon las cepas *M. barkeri* y *M. hungatei* ya que fueron las únicas que continuaron su desarrollo, pero en un volumen de 150 ml de medio de Balch, con el cual una vez alcanzado la concentración 10 mM podía efectuarse el experimento principal.
- El 18 de enero de 1995, se preparó medio 119 (Methanobacterium medium) y se inocularon las cepas de *M. arboriphilicus*, *M. vannielii*, *M. hungatei* y *M. formicicum* en tubos de ensaye manejando un volumen de 5 ml; ya que no siguieron desarrollándose en el medio Balch.
- El 22 de febrero de 1995, se prepararon dos medios de Balch modificados adicionando a uno formiato y a otro acetato, como sustratos, además se les adicionó hidrógeno y dióxido de carbono y se sembró la *M. vannielii*, por no observarse crecimiento en el medio anterior.

Cabe aclarar que los datos de la tabla B.4. del anexo B, que se mencionan son mediciones realizadas posteriormente a la fecha de inoculación.

V. ANALISIS Y DISCUSION.

- A) De los parámetros presentados se esperaba: un aumento en los primeros días y después una disminución de los *AGV's*. Para *DQO* removido una tendencia estable y después una disminución. Un aumento en la producción de *CH₄*. Para los *sólidos volátiles* se espera una disminución por su licuefacción (Eckenfelder, 1970). Observar las fig. V.1., fig. V.2. y fig. V.3.

* Resultados experimentales con *lodo municipal*:

- a) Se observa un aumento de *AGV's* en los primeros 7 días, después de ésta fecha hay una disminución con ligeras variaciones; de la muestra 15 días en adelante se aprecia un aumento con ligeras variaciones. Los valores en general son muy altos del orden de 2500 mg/l.
- b) La *alcalinidad* tiene una tendencia a mantenerse constante entre 2500 y 2000 mg/l en los primeros y últimos días, pero hay notables variaciones entre el 8o-18o día, sin precisar un aumento o disminución generalizado.
- c) La *demanda química de oxígeno* es muy variable, aunque se obtuvo una ligera remoción exceptuando algunos puntos (ver pies de páginas). De éste parámetro se hablará con mayor detalle más adelante y de manera conjunta con los tres tipos de lodo.
- d) La producción de *metano* tiene tendencia a aumentar homogéneamente, aunque el punto de 23 días de retención sobresale de manera notable ya que no es muy congruente con los demás resultados (tal vez hubo entrada de aire).

- e) Respecto a los *sólidos*, en general hay una tendencia a disminuir su concentración en el efluente, aunque se aprecian muchas variaciones incluso anomalías sobresalientes en los últimos puntos del tiempo de retención. Los *SSF* aumentan en el efluente de una manera apenas perceptible lo que significa poca presencia de materia inorgánica. También se observa que el *porcentaje de humedad* (llamada *porcentaje de agua*) tiende a aumentar en el efluente, esto es lo que se esperaba ya que el proceso destruye sólidos orgánicos, a pesar de que se forma biomasa. Los *SSV* son los de mayor interés por lo que se hablará de ellos con más detalle posteriormente y de manera conjunta con los tres tipos de lodo problema.

* Resultados con el *lodo industrial*:

- a) En los *AGV's* hay una tendencia a aumentar y después disminuyen pero a partir del 10o día de retención hay variaciones bruscas. Los valores en general son muy altos, del orden de los 3000 mg/l.
- b) Los valores de *alcalinidad* en general son muy altos, a pesar de que hay una disposición a mantenerse constantes en los primeros y últimos días de retención. Durante el intervalo del 8o-21o días hay grandes variaciones con tendencia a aumentar, lo cual indica que no había una estabilización en el bioensayo.
- c) En general hay una tendencia a disminuir la concentración de *DQO* en el efluente respecto al influente (con sus anomalías) y en algunos puntos se observa notablemente esta diferencia.
- d) En la producción de *metano* se observa una tendencia a aumentar conforme aumenta los tiempos de retención; en los puntos del 9o y 10o días hay una variación notoria.

e) Respecto a los *sólidos* en general hay una disminución de la concentración en el efluente, de la misma manera que en el municipal el *porcentaje de humedad* aumenta en la salida. Los *SSF* (con anomalías) presentan valores del efluente mayores que los del influente, es decir, presencia de mucha materia inorgánica.

▪ Resultados con el *lodo parcialmente digerido*:

a) Los valores de *ácidos grasos volátiles* obtenidos fueron los más pequeños respecto a los otros dos lodos (menores a 2000 mg/l), aunque se aprecia una cierta tendencia a mantenerse constante existen ligeras variaciones.

b) Hay gran variabilidad en la *alcalinidad*, hay una tendencia a aumentar y los valores no son menores a los 1500 mg/l.

c) En este lodo la *DQO* del influente y el efluente se encuentran perfectamente separadas, siendo mayores los valores de entrada y confirmando una clara remoción en todo el experimento.

d) Hay un aumento en la producción de *metano* con pequeñísimas variaciones, pero la producción de biogás en general es poca al inicio, aunque en el último punto puede compararse con la de los otros lodos.

e) La concentración de *sólidos* del efluente es menor que la del influente en general y se observan pequeñas variaciones en los primeros 10 días; cabe indicar que los *SSF* del efluente también son menores que los del influente aproximadamente 1.8 veces la máxima, es decir que había poca materia inorgánica.

B) Retomando los valores de *DQO* se midieron las remociones y se obtuvieron las eficiencias, de las cuales se observó que las más altas fueron para el *lodo parcialmente digerido*, le continúa el *lodo industrial* y por último se encuentra el *lodo municipal*. Los valores máximos se visualizan en la tabla V.1., de manera conjunta en las tablas V.3.1., V.3.3., V.3.5 y en la fig. V.4.

- * Los valores del *lodo de la fosa séptica del IMTA* varían relativamente poco conforme aumenta el tiempo de retención, pero con una tendencia a mantener el 55 % de eficiencia.
- * Los valores del *lodo industrial* varían mucho pero la tendencia promedio es mantener el 20 % de eficiencia.

TABLA V.1. Eficiencias máximas respecto a la demanda química de oxígeno para los tres lodos.

Tipo de lodo	<i>Municipal</i>	<i>Industrial</i>	<i>Fosa séptica IMTA</i>
% Efic max	34.81	38.01	71.66
TR	8	5	8
Remoción [mg/l]	13 896	26 756	52 921

- * Hay mucha variabilidad de los valores en el *lodo municipal*, pero la tendencia promedio es mantener la eficiencia en el 20 %.

C) La *demanda química de oxígeno* es una oxidación de toda la materia orgánica existente en la muestra, por lo que la producción de la biomasa es cuestionable usando este parámetro, de tal manera que la eficiencia y remoción de los *SSV* es el parámetro más viable para verificar este punto, de los medidos experimentalmente. Observar los valores máximos de la tabla V.2., de manera conjunta en las tablas V.3.2., V.3.4., V.3.6. y la fig. V.5. Cabe indicar que el orden de acuerdo a las eficiencias máximas dadas por este último parámetro es el siguiente *lodo industrial*, continúa el *lodo de fosa séptica* y por

último el *lodo municipal*, el cual difiere de la tabla V.1. de eficiencias respecto a *DQO*.

TABLA V.2. Eficiencias máximas respecto a los sólidos suspendidos volátiles para los tres lodos.

Tipo de lodo	<i>Municipal</i>	<i>Industrial</i>	<i>Fosa Séptica IMTA</i>
% Efic max	54.01	70.52	66.72
TR	8	7	1
Remoción [mg/l]	9 235	31 382	8 511

- * Los valores del *lodo industrial* varían relativamente poco en los primeros días (excepto el primero) manteniendo la tendencia del 60 % de eficiencia, pero después del 9o día hay grandes variaciones donde se observa una disminución hasta del 20 %.
- * Los valores del *lodo parcialmente digerido* varían mucho, pero la tendencia promedio es mantener el 30 % de eficiencia. El valor máximo se presenta el primer día, por lo que se cree que ya hubo formación de biomasa durante su estancamiento en la *fosa séptica*.
- * Respecto al *lodo municipal* hay mucha variabilidad en los valores, habiendo grandes diferencias durante los primeros días (del 1 al 7) y los últimos (del 8 al 30), pero la tendencia promedio es mantener en la segunda parte es el 30 % de eficiencia.

D) Con el criterio de *alcalinidad por bicarbonato*, en el cual se utilizaron los valores de *AGV's* y *alcalinidad total* (ver anexo C), el intervalo de eficiencia óptima es de 1000 a 5000 mg/l. Antes del primer punto del intervalo significa que hay una acidez en el reactor y pasando el segundo punto indica un aumento en la basicidad, observar las tablas V.4.1., V.4.2. y V.4.3. Haciendo uso del criterio de *alcalinidad por bicarbonato* se encontró que algunos valores considerados como máximos de eficiencia, tanto para *DQO* como para *SSV*, están ácidos o básicos. Observar el análisis efectuado a continuación.

Primero.

Para el lodo municipal, el valor de eficiencia máxima se da al 8o día de retención, el cual coincide en la remoción de *DQO* y *SSV*, además el lodo del bioensayo se encuentra dentro del intervalo adecuado de *alcalinidad*, lo que indica que el proceso de degradación de biomoléculas y la formación de biomasa están en equilibrio. Para los días 3o y 15o que son los segundos valores máximos en *DQO* y *SSV*, respectivamente, están ácidos por lo que no son confiables. Al continuar buscando el siguiente máximo con validez dentro del intervalo de alcalinidad, se encontró al 21o día de retención que además coincide en los dos parámetros. Además se observa que estos días pueden ser claves para establecer períodos o ciclos de crecimiento bacteriano.

Segundo.

Para el *lodo industrial* los máximos del 5o y 7o día respecto a *DQO* y *SSV* están fuera del intervalo de *alcalinidad por bicarbonatos*, por lo que los siguientes punto máximos se encontraron en los bioensayos de 3 y 8 días, los cuales coincide como máximos o están entre las más altas eficiencias en los dos parámetros. Un dato interesante es el 15o día que cae como máximo respecto a *DQO_{removido}*, está básico y tiene una remoción negativa en los *SSV* (lo cual indica que hubo producción de biomasa), esto posiblemente indica que no tiene que ver el valor numérico negativo ya que los microorganismos se desarrollaron a pesar de estar en un ambiente alcalino.

Tercero.

Por último los valores de eficiencias máximas del *lodo parcialmente digerido* son del 8o y 6o día respecto a *DQO*, se encuentran dentro del intervalo óptimo de alcalinidad y no coinciden como máximos respecto a *SSV* pero no son despreciables sus remociones, ya que se encuentran entre las más altas. Para el 1o y 3er día respecto a *sólidos volátiles*, los cuales están dentro del intervalo óptimo, tienen además remociones altas respecto a *DQO*, a pesar de que en el primer punto hubo una remoción negativa, es decir, producción de biomasa (ver discusión del inciso C).

En este caso particular en lo que a eficiencias mínimas se refiere, los puntos 9o respecto a *DQO* y el 7o y 21o días respecto a *SSV*, se observa que fueron los que se acidificaron por lo que deberían tener valores pequeños en sus eficiencias, pero no lo son ya que incluso son mayores comparándolos con los otros lodos estudiados, además se observa que en algunos de ellos hubo crecimiento de biomasa. Esto posiblemente indica el grado de estabilidad que puede tener un lodo pretratado.

Finalmente, se observa que el comportamiento de las eficiencias máximas respecto a los *SSV* son durante los diez primeros días (especialmente el día 8), es decir, cuando hay crecimiento de las metanobacterias, excepto para el lodo municipal que fueron para dos días (7 y 21), por lo que puede tener un ciclo o le falta tiempo de estabilización. Aunque el orden fue el anterior, debe hacerse hincapié en que el *lodo parcialmente digerido* fue el más homogéneo, es decir, sus valores tienen una tendencia a ser más constantes.

- E) Basándose en los parámetros de *metano* y *demanda química de oxígeno removido* se efectuó el *potencial bioquímico de metano (PBM)*. Este parámetro lo estableció Owen et al (1978), quien trabajó con bioensayos utilizando medio preparado determinado, el cual no se utilizó en el experimento; sin embargo se efectuó el ejercicio (ver anexo D) y se obtuvieron los resultados de las tablas V.5.1., V.5.3. y V.5.5., encontrando que para los *lodos parcialmente digeridos* el proceso fue favorable, mientras que para el *municipal* e *industrial* en algunos casos el valor mostrado es muy alto, lo cual no significa que el proceso haya sido efectivo, ya que correlacionándolos con el intervalo óptimo de alcalinidad, se observa que muchos de ellos se acidificaron.

En la literatura se encontró reportado también la producción de biogás por kilogramo de *sólido volátil* alimentado y eliminado, al cual se nombró también como *potencial bioquímico de metano (PBM)* respecto a *SSV*. Donde los valores del intervalo normal son

$0.5 \text{ m}^3 \text{ Biogás/Kg SSV}_{\text{alimentados}}$ ($0.35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg SSV}_{\text{alimentados}}$)

$0.75 \text{ m}^3 \text{ Biogás/Kg SSV}_{\text{alimentados}}$ ($0.525 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg SSV}_{\text{alimentados}}$)

$0.75 \text{ m}^3 \text{ Biogás/Kg SSV}_{\text{eliminados}}$ ($0.525 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg SSV}_{\text{eliminados}}$)

$1.12 \text{ m}^3 \text{ Biogás/Kg SSV}_{\text{eliminados}}$ ($0.784 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg SSV}_{\text{eliminados}}$)

Utilizando los parámetros correspondientes se determinó este nuevo (ver anexo 4), encontrándose los resultados en las tablas V.5.2., V.5.4. y V.5.6. De la misma manera que en el ejercicio anterior también se correlacionaron con el intervalo de alcalinidad. Cabe hacer hincapié en que estos datos se manejan cuando se introduce una carga de materia orgánica controlada, por lo que no tiene significado en este experimento ya que no se controló esta condición, aunque los valores llegaran a estar dentro del intervalo óptimo de alcalinidad, no se encuentran en su mayoría dentro del intervalo del cual se habló arriba.

- F) Respecto a los microorganismos se observa que solo la *M. barkeri* y *M. hungatei* pudieron adaptarse al medio de Balch, y se obtuvo un volumen considerable de estas cepas para efectuar el experimento principal.

De la misma manera se está obteniendo el desarrollo de la *M. arboriphilicus* y de la *M. formicicum* en medio 119, pero aun no se tiene un volumen adecuado para el objetivo propuesto.

Sin embargo, la *M. vannielii* no se ha podido desarrollar y se preparará el medio indicado para su crecimiento.

TABLA V.3.1. Datos de eficiencias respecto a la demanda química de oxígeno para el lodo municipal					
TR [días]	DQO INF [mg/l]	DQO EFL [mg/l]	PIE PAG	DQO removido	EFICIENCIA
1	41370	33343		8027	19.40
3	37746	26021	h	11725	31.06
5	35510	28753	h	6757	19.03
6	35086	28540	h	6546	18.66
7	32555	30841	h	1714	5.26
8	39925	26029		13896	34.81
9	32045	32045	*	0	0.00
10	38480	28046	h	10434	27.12
12	36444	32711		3733	10.24
15	17172	14400	f,h	2772	16.14
18	25885	25885	*	0	0.00
21	18693	13040		5653	30.24
23	25194	25194	*,h	0	0.00
30	35524	35524	*,h	0	0.00

TABLA V.3.2. Datos de eficiencias respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el lodo municipal					
TR [días]	SSV INF [mg/l]	SSV EFL [mg/l]	PIE PAG	SSV removido	EFICIENCIA
1	17098	14964		2134	12.48
3	9650	7850	h	1800	18.65
5	9650	8618	h	1032	10.69
6	9650	10593	h,p	-943	9.77
7	9650	9100	h	550	5.70
8	17098	7863		9235	54.01
9	17098	10707		6391	37.38
10	17098	16517	h	581	3.40
12	13400	11408		1992	14.87
15	8100	4200	f,h	3900	48.15
18	8300	7846		454	5.47
21	8300	4333		3967	47.80
23	8300	8894	h,p	-594	7.16
30	8300	5081	h	3219	38.78

- f dato obtenido de otro lote, bajo las mismas condiciones.
h lodo del bioensayo ácido.
p producción de biomasa.
* reactivos del influente y efluente de diferentes lotes.

TABLA V.3.3. Datos de eficiencias respecto a la demanda demanda química de oxígeno para el lodo industrial					
TR [días]	DQO INF [mg/l]	DQO EFL [mg/l]	PIE PAG	DQO removido	EFICIENCIA
1	46748	46748	*	0	0.00
3	70008	50023		19985	28.55
5	70395	43639	h	26756	38.01
6	58720	53514	h	5206	8.87
7	50925	39339	h	11586	22.75
8	64115	46060		18055	28.16
9	54226	54226	*	0	0.00
10	57935	52041	h	5894	10.17
12	57085	54975		2110	3.70
15	70890	45410		25480	35.94
18	59190	55420		3770	6.37
21	49995	49300		695	1.39
23	70890	56743	h	14147	19.96
30	70890	52808	h	18082	25.51

TABLA V.3.4. Datos de eficiencias respecto a los sólidos suspensionados volátiles para el lodo industrial					
TR [días]	SSV INF [mg/l]	SSV EFL [mg/l]	PIE PAG	SSV removido	EFICIENCIA
1	20595	20259		336	1.63
3	44500	16200		28300	63.60
5	44500	17381	h	27119	60.94
6	44500	16888	h	27612	62.05
7	44500	13118	h	31382	70.52
8	20595	9100		11495	55.81
9	20595	17198		3397	16.49
10	20595	30250	h,p	-9655	46.88
12	24565	21292		3273	13.32
15	17750	19000	p	-1250	7.04
18	17750	12333		5417	30.52
21	17750	20550	p	-2800	15.77
23	17750	16190	h	1560	8.79
30	17750	12750	h	5000	28.17

h lodo del bioensayo ácido.

p producción de biomasa.

* reactivos del influente y efluente de diferentes lotes.

TABLA V.3.5. Datos de eficiencias respecto a la demanda química de oxígeno para el lodo parcialmente digerido					
TR [días]	DQO INF [mg/l]	DQO EFL [mg/l]	PIE PAG	DQO removido	EFICIENCIA
1	47175	27869		19306	40.92
3	80570	29941		50629	62.84
5	74348	28367		45981	61.85
6	82870	24163		58707	70.84
7	56565	26956	h	29609	52.35
8	73845	20924		52921	71.66
9	47175	28842	h	18333	38.86
10	73663	24119		49544	67.26
12	70615	31309		39306	55.66
15	59113	28440		30673	51.89
18	59113	33274		25839	43.71
21	57050	20546	h	36504	63.99
23	57050	23574		33476	58.68
30	77308	22980		54328	70.27

TABLA V.3.6. Datos de eficiencias respecto a los sólidos suspendidos volátiles para el lodo parcialmente digerido					
TR [días]	SSV INF [mg/l]	SSV EFL [mg/l]	PIE PAG	SSV removido	EFICIENCIA
1	12757	21268		-8511	66.72
3	30250	15500	p	14750	48.76
5	30250	17867		12383	40.94
6	30250	18155		12095	39.98
7	30250	34229	h,p	-3979	13.15
8	12757	6941		5816	45.59
9	12750	16331	h,p	-3581	28.09
10	12750	16259	p	-3509	27.52
12	20820	16049		4771	22.92
15	20820	13400		7420	35.64
18	20820	13773		7047	33.85
21	13950	11261	h	2689	19.28
23	13950	9167		4783	34.29
30	13950	7238		6712	48.11

h lodo del bioensayo ácido.
p producción de biomasa.

TABLA V.4.1. Determinación de concentración de bicarbonatos en el lodo municipal				
Tr [Días]	AGV'S (mg AcAc/l)	ALCALINIDAD (mg/l)	PIE PAG	ALCALINIDAD [CaCO ₃]
1	888	2582		1872
3	1948	2498	h	940
5	2272	2004	h	187
6	2586	1966	h'	103
7	2632	1998	h'	107
8	2123	3162		1464
9	2046	3623		1986
10	2167	1700	h'	34
12	1345	3426		2350
15	578	500	f,h	38
18	1676	3373		2033
21	1010	2387		1579
23	3712	1768	h'	1221
30	4211	2591	h'	778

TABLA V.4.2. Determinación de concentración de bicarbonatos en el lodo industrial				
Tr [Días]	AGV's (mg AcAc/l)	ALCALINIDAD (mg/l)	PIE PAG	ALCALINIDAD [CaCO ₃]
1	2090	4111		2439
3	3813	4444	h	1394
5	3802	3670	h	628
6	4337	3589	h'	119
7	4151	3156		164
8	2227	4690		2908
9	1990	7096		5503
10	3799	3401	h	362
12	2013	6904	k	5293
15	3820	9750	k	6658
18	n.d.	5007		
21	2422	6219		4281
23	4375	3736	h	236
30	5272	4503	h	285

f dato obtenido de otro lote, bajo las mismas condiciones.
h lodo del bioensayo ácido.
h' lodo del bioensayo ácido, pero su diferencia fue negativa.
k lodo del bioensayo básico.
n.d. no se determinó.

TABLA V.4.3. Determinación de concentración de bicarbonatos en el lodo parcialmente digerido				
Tr [Días]	AGV'S (mg AcAc/l)	ALCALINIDAD (mg/l)	PIE PAG	ALCALINIDAD [CaCO ₃]
1	622	3267		2770
3	579	2635		2172
5	939	1799		1048
6	517	1689		1275
7	1382	1673	h	567
8	205	2372		2208
9	1076	1731	h	870
10	379	1568		1265
12	181	4216		4071
15	n.d.	3373		
18	107	2042	h	1956
21	1840	1804		332
23	532	1855		1429
30	395	2477		2161

s

h lodo del bioensayo ácido.
n.d. no se determinó.

TABLA V.5.1. OBTENCIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO
RESPECTO A DQO PARA EL LODO MUNICIPAL

Tr [días]	DQO INF	DQO EFL	REMOCION DE DQO	mg DQO rem	METANO (ml)	PBM op	PBM ref	% PBM f(teórico)	PIE PAG
1	41370	33343	8027.0	1204.1	31.4	0.0261	0.0178	5.08	
3	37748	26021	11726.5	1759.0	59.0	0.0335	0.0229	6.54	h
5	35510	28753	6757.0	1013.6	233.6	0.2305	0.1572	44.93	h,j
6	35086	28540	6546.3	981.9	177.1	0.1804	0.1231	35.16	h
7	32555	30841	1714.0	257.1	680.5	2.6468	1.8058	515.96	h
8	39925	26029	13896.0	2084.4	273.1	0.1310	0.0894	25.54	
9	32045	32045	0.0	0.0	376.0	0.0000	0.0000	0.00	*
10	38480	28046	10434.0	1565.1	322.8	0.2062	0.1407	40.20	h,j
12	36444	32711	3732.8	559.9	625.8	1.1177	0.7625	217.87	
15	17172	14400	11485.0	1722.8	1186.7	0.6888	0.4700	134.28	f,h
18	25885	25885	0.0	0.0	1072.4	0.0000	0.0000	0.00	*
21	18693	13040	5652.5	847.9	856.2	1.0098	0.6890	196.85	
23	25194	25194	0.0	0.0	6278.2	0.0000	0.0000	0.00	*,h
30	35524	35524	0.0	0.0	3375.0	0.0000	0.0000	0.00	*,h

TABLA V.5.2. OBTENCIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO
RESPECTO A LOS SSV PARA EL LODO MUNICIPAL

Tr [días]	SSV INF	SSV EFL	mg SSV INF	mg SSV EFL	METANO	PBM op INF	PBM op EFL	PBM ref INF	PBM ref EFL	PIE PAG
1	17098	14964	2564.7	2244.6	31.4	0.0122	0.0140	0.0084	0.0095	
3	9650	7850	1447.5	1177.5	59.0	0.0408	0.0501	0.0278	0.0342	h
5	9650	8618	1447.5	1292.7	233.6	0.1614	0.1807	0.1101	0.1233	h
6	9650	10593	1447.5	1589.0	177.1	0.1223	0.1115	0.0835	0.0760	h
7	9650	9100	1447.5	1364.9	680.5	0.4701	0.4986	0.3207	0.3402	h
8	17098	7863	2564.7	1179.4	273.1	0.1065	0.2315	0.0726	0.1580	
9	17098	10707	2564.7	1606.0	376.0	0.1466	0.2341	0.1000	0.1597	
10	17098	16517	2564.7	2477.5	322.8	0.1259	0.1303	0.0859	0.0889	h
12	13400	11408	2010.0	1711.2	625.8	0.3113	0.3657	0.2124	0.2495	
15	8100	4200	1215.0	630.0	1186.7	0.9767	1.8837	0.6664	1.2852	f,h
18	8300	7846	1245.0	1176.9	1072.4	0.8614	0.9112	0.5877	0.6217	
21	8300	4333	1245.0	650.0	856.2	0.6877	1.3173	0.4692	0.8988	
23	8300	8894	1245.0	1334.1	6278.2	5.0427	4.7059	3.4405	3.2107	h
30	8300	5081	1245.0	762.2	3375.0	2.7108	4.4283	1.8495	3.0213	h

PBMop = Potencial bioquímico de metano a condiciones de operación.
PBMref = Potencial bioquímico de metano a condiciones de referencia.

TABLA V.5.3. OBTENCION DEL POTENCIAL BIOQUIMICO DE METANO
RESPECTO A DQO PARA EL LODO INDUSTRIAL

Tr [días]	DQO INFLUENTE	DQO EFLUENTE	REMOCION DQO	mg DQO rem	METANO	PBM op	PBM ref	% PBM f(teorico)	PIE PAG
1	46748	46748	0.0	0.0	30.4	0.0000	0.0000	0.00	*
3	70008	50023	19985.0	2997.8	236.0	0.0787	0.0537	15.35	h
5	70395	43639	26756.3	4013.4	300.7	0.0749	0.0511	14.61	h
6	58720	53514	5206.3	780.9	206.7	0.2647	0.1806	51.60	h
7	50925	39339	11586.3	1737.9	231.5	0.1332	0.0909	25.97	h
8	64115	46060	18055.0	2708.3	207.1	0.0765	0.0522	14.90	
9	54226	54226	0.0	0.0	1041.7	0.0000	0.0000	0.00	*,k
10	57935	57041	5893.8	884.1	1175.3	1.3294	0.9070	259.14	h
12	57085	54975	2110.0	316.5	150.7	0.4761	0.3249	92.82	k
15	70890	45410	25480.0	3822.0	645.6	0.1689	0.1152	32.93	k
18	59190	55420	3770.0	565.5	511.0	0.9036	0.6165	176.15	
21	49995	49300	695.0	104.3	484.6	4.6484	3.1715	906.14	
23	70890	56743	14147.5	2122.1	1007.7	0.4749	0.3240	92.56	h
30	70890	52808	18082.5	2712.4	2379.2	0.8772	0.5985	170.99	h

TABLA V.5.4. OBTENCION DEL POTENCIAL BIOQUIMICO DE METANO
RESPECTO A LOS SSV PARA EL LODO INDUSTRIAL

Tr [días]	SSV INFLUENTE	SSV EFLUENTE	mg SSV INF	mg SSV EFL	METANO	PBM op INF	PBM op EFL	PBM ref INF	PBM ref EFL	PIE PAG
1	20595	20259	3089.3	3038.9	30.4	0.0098	0.0100	0.0067	0.0068	
3	44500	16200	6675.0	2430.0	236	0.0354	0.0971	0.0241	0.0663	
5	44500	17381	6675.0	2607.2	300.7	0.0450	0.1153	0.0307	0.0787	h
6	44500	16888	6675.0	2533.2	206.7	0.0310	0.0816	0.0211	0.0557	h
7	44500	13118	6675.0	1967.7	231.5	0.0347	0.1177	0.0237	0.0803	h
8	20595	9100	3089.3	1365.0	207.05	0.0670	0.1517	0.0457	0.1035	
9	20595	17198	3089.3	2579.7	1041.7	0.3372	0.4038	0.2301	0.2755	k
10	20595	30250	3089.3	4537.5	1175.25	0.3804	0.2590	0.2596	0.1767	h
12	24565	21292	3684.8	3193.8	150.7	0.0409	0.0472	0.0279	0.0322	k
15	17750	19000	2662.5	2850.0	645.6	0.2425	0.2265	0.1654	0.1546	h
18	17750	12333	2662.5	1850.0	511	0.1919	0.2762	0.1309	0.1885	
21	17750	20550	2662.5	3082.5	484.6	0.1820	0.1572	0.1242	0.1073	
23	17750	16190	2662.5	2428.5	1007.7	0.3785	0.4149	0.2582	0.2831	h
30	17750	12750	2662.5	1912.5	2379.2	0.8936	1.2440	0.6097	0.8488	h

PBMop = Potencial bioquímico de metano a condiciones de operación.
PBMref = Potencial bioquímico de metano a condiciones dereferencia.

TABLA V.5.5. OBTENCION DEL POTENCIAL BIOQUIMICO DE METANO
RESPECTO A DQO PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

Tr (dias)	DQO INFLUENTE	DQO EFLUENTE	REMOCION DQO	mg DQO rem	METANO	PBM op	PBM ref	% PBM f(teorico)
1	47175	27869	19306.2	2895.9	17.8	0.0061	0.0042	1.20
3	80570	29941	50628.7	7594.3	55.8	0.0073	0.0050	1.43
5	74348	28367	45980.6	6897.1	256.7	0.0372	0.0254	7.26
6	82870	24163	58707.5	8806.1	843.5	0.0958	0.0654	18.67
7	56565	26956	29609.4	4441.4	557.1	0.1254	0.0856	24.45
8	73845	20924	52921.1	7938.2	451.6	0.0569	0.0388	11.09
9	47175	28842	18333.1	2750.0	935.3	0.3401	0.2320	66.30
10	73663	24119	49543.8	7431.6	481.3	0.0648	0.0442	12.62
12	70615	31309	39306.2	5895.9	311.4	0.0528	0.0360	10.30
15	59113	28440	30672.5	4600.9	826.2	0.1796	0.1225	35.01
18	59113	33274	25838.7	3875.8	1532.6	0.3954	0.2698	77.08
21	57050	20546	36503.7	5475.6	1157.0	0.2113	0.1442	41.19
23	57050	23574	33476.2	5021.4	1659.2	0.3304	0.2254	64.41
30	77308	22980	54327.5	8149.1	2463.2	0.3023	0.2062	58.92

PIE PAG
h
j
h
h

TABLA V.5.6. OBTENCION DEL POTENCIAL BIOQUIMICO DE METANO
RESPECTO A LOS SSV PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

Tr (dias)	SSV INFLUENTE	SSV EFLUENTE	mg SSV INF	mg SSV EFL	METANO	PBM op INF	PBM op EFL	PBM ref INF	PBM ref EFL	PIE PAG
1	12757	21268	1913.6	3190.2	17.8	0.0093	0.0056	0.0063	0.0038	
3	30250	15500	4537.5	2325.0	55.8	0.0123	0.0240	0.0084	0.0164	
5	30250	17867	4537.5	2680.1	256.7	0.0566	0.0958	0.0386	0.0653	
6	30250	18155	4537.5	2723.3	843.5	0.1859	0.3097	0.1268	0.2113	
7	30250	34229	4537.5	5134.4	557.1	0.1228	0.1085	0.0838	0.0740	h
8	12757	6940	1913.6	1041.0	451.6	0.2360	0.4338	0.1610	0.2960	j
9	12757	16331	1913.6	2449.7	935.3	0.4888	0.3818	0.3335	0.2605	h
10	12757	16259	1913.6	2438.9	481.3	0.2515	0.1973	0.1716	0.1346	
12	20820	16049	3123.0	2407.4	311.4	0.0997	0.1294	0.0680	0.0883	
15	20820	13400	3123.0	2010.0	826.2	0.2646	0.4110	0.1805	0.2804	
18	20820	13773	3123.0	2066.0	1532.6	0.4908	0.7418	0.3348	0.5061	
21	13950	11261	2092.5	1689.2	1157.0	0.5529	0.6850	0.3772	0.4673	h
23	13950	9167	2092.5	1375.1	1659.2	0.7929	1.2066	0.5410	0.8233	
30	13950	7238	2092.5	1085.7	2463.2	1.1772	2.2688	0.8031	1.5479	

PBMop = Potencial bioquímico de metano a condiciones de operación.
PBMref = Potencial bioquímico de referencia.

Fig. V.1. Comparación de parámetros para el lodo MUNICIPAL

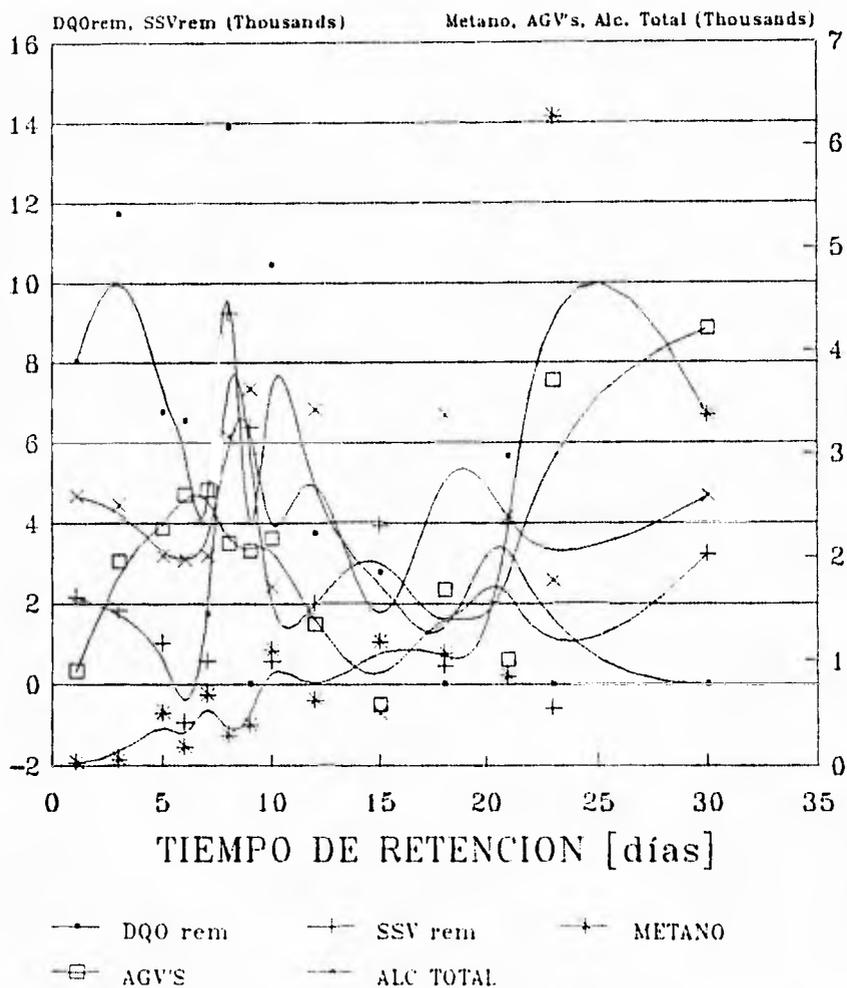


Fig. V.2. Comparación de parámetros
para el lodo INDUSTRIAL

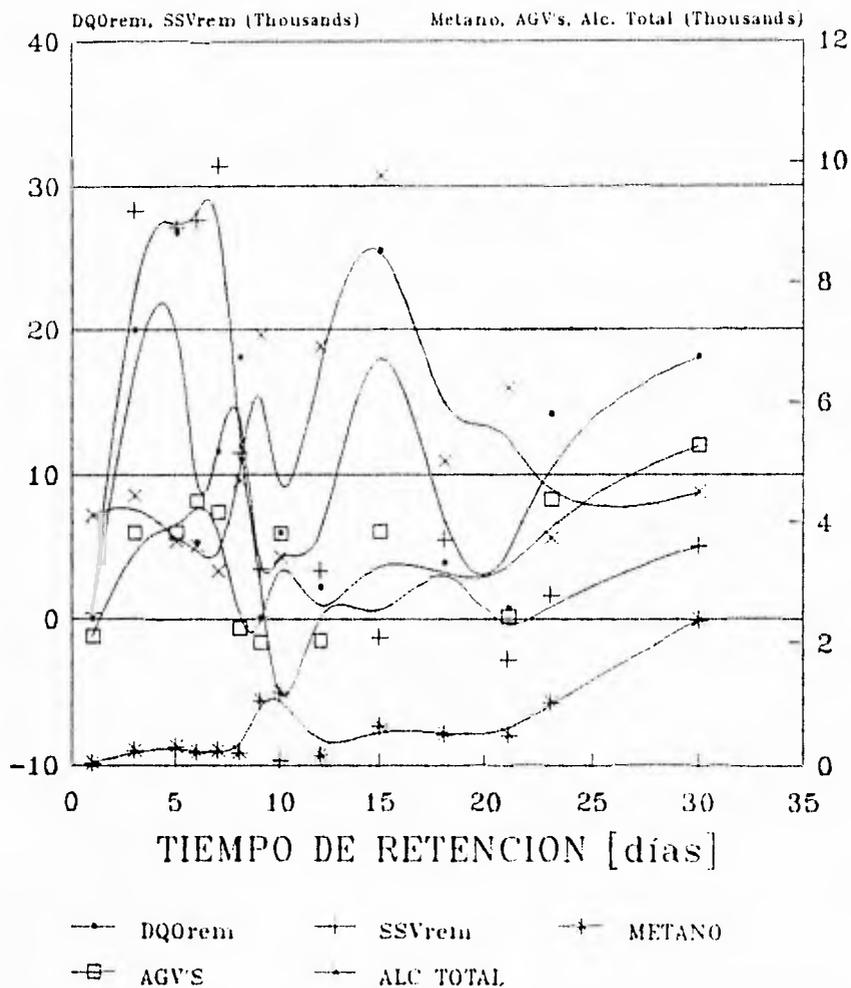


Fig. V.3. Comparación de parámetros
para el lodo PARCIALMENTE DIGERIDO

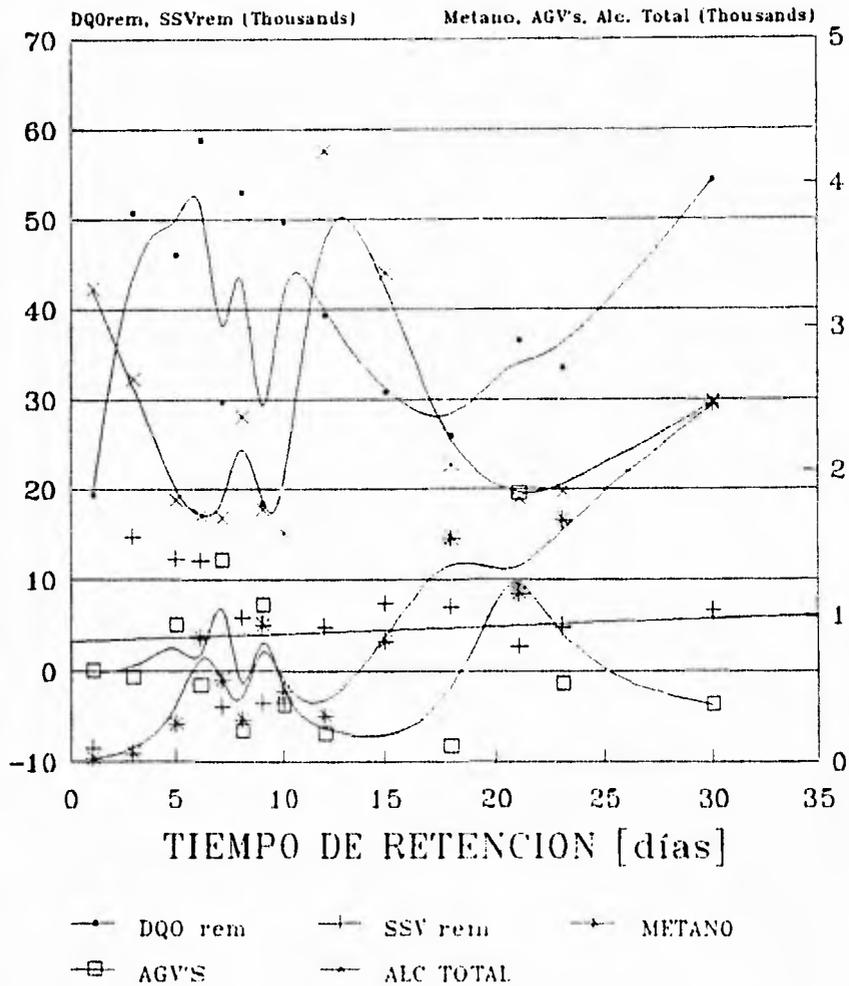


FIG. V.4. EFICIENCIAS RESPECTO A DQO PARA LOS TRES LODOS

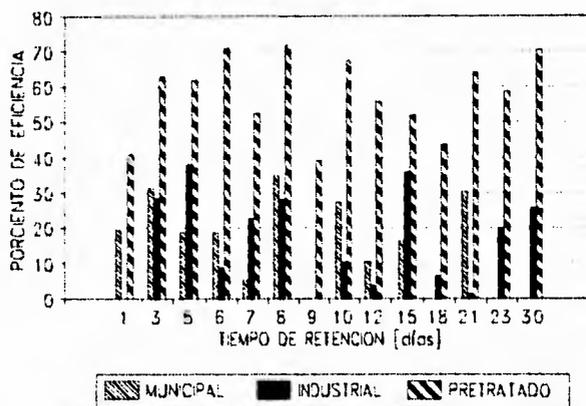
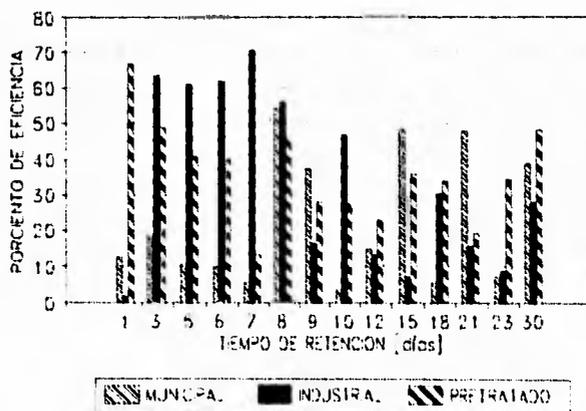


FIG.V.5. EFICIENCIAS RESPECTO A SSV PARA LOS TRES LODOS



VII. CONCLUSIONES

- El *lodo de la fosa séptica del IMTA* generaron las más bajas concentraciones de *ácidos grasos volátiles* (menores a 2 000 mg/l), en cambio los *lodos municipal e industrial* tuvieron concentraciones mayores a 2 000 mg/l incluso en algunos bioensayos alcanzaron valores de hasta 3 500 mg/l. Este parámetro indica que tanto degradan las bacterias acidogénicas a las biomoléculas en fragmentos más pequeños (ácidos acético, butírico, isobutírico, valérico, etc.), por lo que es probable que indique las altas concentraciones de materia bio-orgánica en los *lodos municipal e industrial* y menor en el de *la fosa séptica*; o que la adaptación de estas bacterias fue más rápida en éstos dos primeros lodos que en el último que se menciona. Esta fue una de las razones por las que se le llamó también *lodo pretratado o parcialmente digerido*, es decir que ya había empezado el proceso de digestión con la hidrólisis de las biomoléculas.
- Los valores de *alcalinidad* indican bajas concentraciones para el *lodo de fosa séptica del IMTA* (2 000 mg/l) y para el *lodo municipal* (2 500 mg/l); en cambio para el *lodo industrial* son de 4 000 mg/l en promedio y en algunos ensayos fue de 7 000 y 9 750 mg/l. El parámetro posiblemente indica que el lodo contenía sustancias que al ser procesadas por digestión anaerobia formaron compuestos (como carbonatos y amoníaco) que aumentaron éste valor. Cabe señalar que el *lodo industrial* desde el momento de su recolección tenía un intenso olor característico de los compuestos con azufre.
- Respecto a los valores de volumen de *metano* producido, en general se observa una mayor producción conforme aumenta el tiempo de retención. En el último punto (30 días), los *lodos parcialmente digerido e industrial* alcanzan los 2 500 ml por 130 ml de lodo crudo usado, siendo mayor el del *lodo municipal* cuyo valor es de 3 000 ml por el

mismo volumen de lodo usado. Esto posiblemente sugiera que el inóculo (que se obtuvo desde un inicio del *municipal*) ya estableció una población microbiana capaz de degradar desechos presentes en él con gran eficacia. Cabe recordar que éste parámetro no es confiable como el *porcentaje de metano producido*, el cual no se midió.

- Como ya se discutió, la eficiencia del proceso respecto a la *demanda química de oxígeno*, fue más efectiva de acuerdo al siguiente orden:

- 1) *lodo parcialmente digerido* con el 71.66 % de eficiencia,
- 2) *lodo industrial* con el 35.94 %, y
- 3) *lodo municipal* con el 34.81 %.

En lo que se refiere a la eficiencia del proceso respecto a los *sólidos suspendidos volátiles*, que no coincidió fue el siguiente:

- 1) *lodo industrial* con el 70.52 % de eficiencia,
- 2) *lodo parcialmente digerido* con el 66.72 %, y
- 3) *lodo municipal* con el 54.01 %.

- Por lo tanto los resultados experimentales muestran que es necesario darles un pretratamiento a los *lodos municipal e industrial* (o quizás darles un mayor tiempo de retención), para evitar las grandes variaciones que presentan y de esta manera estabilizarlos.

- El proceso experimental utilizado muestra la desventaja de trabajar con bioensayos. Los resultados son útiles como trabajo de investigación, proporcionan cierta información sobre las características del lodo, pero no son confiables en el momento de dimensionar reactores a escala industrial.
- El *potencial bioquímico de metano* respecto a DQO_{cm} es un parámetro deducido de bioensayos estrictamente hablando y es útil para verificar la toxicidad de algunos componentes en el proceso; adicionándoles nutrientes y controlando el ambiente (bajo atmósfera de nitrógeno), para que los microorganismos se desarrollen en ese tipo de lodo. De acuerdo a los resultados obtenidos en los *lodos municipal e industrial* se pensó que no era aplicable a este procedimiento en particular, sin embargo, el *lodo de la fosa séptica del IMTA* indica que sí lo es y que es bastante efectivo.
- Por último, las bacterias metanogénicas requieren cuidados especiales y mucho tiempo para su desarrollo cuando se requieren tener de una manera pura y en concentraciones considerables, para poder realizar trabajos con ellas posteriormente. Lo que se pretendía era disminuir el tiempo de identificación dentro de una mezcla, de acuerdo a los productos de degradación particulares que producen cada una, a través de cromatografía de gases con detector de ionización de flama (CG-FID); sin embargo, de acuerdo a lo encontrado en la literatura, se sugiere que en el trabajo posterior, las técnicas de identificación se realicen por cromatografía de líquidos (HPLC), debido a que las bacterias que se desean identificar poseen coenzima M, factor 420, factor 430 y metanopterina que pueden ser detectados por este equipo, con mayor facilidad y eficiencia.

VII. BIBLIOGRAFIA

Asselineau, J. (1961). Sur quelques applications de la chromatographie en phase gazeuse a l'étude d'acides gras bacteriens. Ann. Inst. Pasteur, 100, 109.

Balch, W.E. and Wolfe, R.S. (1976). New approach to the cultivation of methanogenic bacteria: 2-mercapto-ethanolsulfonic acid (HS-CoM)-dependent growth *Methanobacterium ruminantium* in a pressurized atmosphere. Appl. Environ, Microbiol., 32: 781-791 pp

Balch, W.E; Fox, G.E; Magrum, L.J; Woese, C.R. and Wolfe, R.S. (1979). Methanogens: Reevaluation of a Unique Biological Group. Microbiol. Rev; 43: 260-296 pp

Biothane. (1987). Pilot study report.

Burgett, Charles A. (1974). Classification of anaerobic bacteria by gas chromatography. Application Note. Hewlett-Packard, PA, ANGC 9-74, 1-5 pp

Bruce, A.M. B. Sc. M.I.W.P.C. (1984). Sewage sludge stabilisation and disinfection. Water Research Centre. Ellis Horwood Limited. Cap. 5 y 9.

Colín, C.A. (1991). Lodos residuales, ¿Qué son y qué hacer con ellos? Revista de la Sociedad Mexicana de Ing. Sanitaria y Ambiental A.C., Año 4, 12.

Colin, F. and Munk-Koefoed, N. (1987). **Application of an automatic titration device for monitoring and controlling methane digesters.** Institut de Recherches Hydrologique (IRH), Nancy, France, 241-249 pp. **Anaerobic Digestion: Results of research and demonstration projects.** Edit by Ferranti, M.P., Ferrero, G.L. and L'Hermite, P. Elsevier Applied Science.

Cooper, J. William. (1981). **Chemistry in water reuse.** Ann Arbor Science, USA. Vol. 1. Cap. 8, 187-205 pp.

Diario Oficial de la Federación. (1993). **Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-PA-CRP-001/93.** México, D.F. 2 de julio.

Eckenfelder, W. W. and Roth, J.A. (1976). **Effluent variability as related to developing performance standards.** International conference on effluent variability from wastewater treatment processes and it's control. December 2-4, 1974. Louisiana, Pergamont Press. Great Britain, Prog.Wat.Tech. Vol. 8, 1, 1-14 pp

Eckenfelder, Wesley W. (1989). **Industrial Water Pollution Control.** 2nd edit, McGraw-Hill Book Co, Singapore. 245-262 pp

Eckenfelder, W.W. Jr. (1972). **Interrelationships between biological treatment and physical chemical treatment. Applications of new concepts of physical-chemical wastewater treatment.** September 18-22. Vol. 1. 75-84 pp

Eckenfelder, W.W. Jr. (1991). **Principles of water quality management.** Krieger Publishing Co, USA. Cap 5, 6.

Eckenfelder, W.W. & Ford, D.L. (1970). **Water pollution control experimental procedures for process design.** Jenkins book publishing Co, New York. Cap 14. 185-194 pp

Energía y Medio Ambiente (1990). Memorias del Simposio. 4-5 de diciembre de 1984. U.N.A.M.- S.E.D.U.E. 1a. reimpresión, México.

Gantar M. Wolfe R.S. (1986). Biochemical ecology of anaerobes. Perspectives in microbial ecology, Proceedings of the Fourth International Symposium on Microbial Ecology Ljubljana 24-29 August. Edit by Megusar F; Department of Microbiology, University of Illinois, Urbana, Illinois, USA. 3-7 pp

García, J.L. (1990). Taxonomy and ecology of methanogens. FEMS Microbiology Reviews 87, 297-308 pp

Gran Enciclopedia Larousse. (1990). Tomo 2. Edit. Planeta, España.

Gran Enciclopedia Larousse. (1991). Tomos 5 y 8. Edit. Planeta, España.

Guyot, J.P. (1992). Introducción a la microbiología de la digestión anaerobia, del curso bioprocesos anaerobios para el tratamiento de efluentes industriales, 6 y 7 de Mayo. UAM-Iztapalapa.

Hach. (1991). Analytical Procedures. USA.

Hall, R.Eric. (1994). Anaerobic treatment: getting to full scale successfully. Environment Canada Wastewater Technology Centre. P.O. Box 5050 Burlington, Ontario, Canada.

Hombre, Ciencia y Tecnología. (1980). Tomo 2. Enciclopedia Británica, México.

Hungate, R.E. (1969). A roll-tube method for the cultivation of strict anaerobes. In: Norris, J.R. and Robond, D.W. (Eds.). Methods in Microbiology. Academic Press Inc. New York. Vol. 33. 117-132 pp

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Iza, J; Colleran, E; Paris, J.M. and Wu, M.W. (1991). **International workshop on anaerobic treatment technology for municipal and industrial wastewaters: Summary Paper.** Wat. Sci. Tech. Vol. 24, 8, 1-16 pp

Khandelwal, K.C; Mahdi, S.S. (1986). **Biogas Technology a Practical Handbook.** McGraw-Hill Publishing Co. New Delhi.

König, H. and Stetter, K.O. (1989). **Archaeobacterias.** Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Williams & Wilkins, USA, Vol. 3.

McCarty, P.L. (1964). **Anaerobic Waste Treatment Fundamentals.** Pub. Works, 95, 107-112.

McCarty, L. Perry. (1968). **Anaerobic treatment of soluble wastes.** *Advances in Water Quality Improvement.* Edit by Gloyna, E.F. and Eckenfelder, W.W. Jr; University of Texas Press, Austin and London, USA, Stanford University, California. 336-354 pp

Mendoza, Castillo J.A. (1993). **Determinación de algunos metales pesados en efluentes de digestores anaerobios.** Tesis. Fac. de Química, U.N.A.M.

Moeller, Ch.G. (1988). **Utilización de un modelo cinético de crecimiento biológico para la predicción del comportamiento de la biomasa anaeróbica para la estabilización de los lodos de desecho.** VI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Querétaro, Qro.

Moeller, Ch.G; Soler, A.F; Moral, P.L. (1990). **Comparación de algunas técnicas para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas residuales y lodos.** Memorias del VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Oaxaca, Oax. 19 al 21 de Septiembre.

MOP. (1990). **Operation of municipal wastewater treatment plants. Manual of Practice No.11, vol. II.** 2nd edit. Water Pollution Control Federation.

Noone G.P. (1987). **The treatment of domestic wastes.** Severn-Trent Water Authority Birmingham, U.K. 139-170 pp.

Owen W.F. Stuckey D.C. Healy J.B. Young L.Y. and McCarty P.L. (1978). **Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity.** Wat. Res. Vol 13, 485-492

Sawyer, Clair N; McCarty, Perry L. (1978). **Chemistry for environmental engineering.** McGraw-Hill, USA. 3rd edit. 433-438 pp

Snoeyink, Vernon L; Jenkins, David. (1987). **Química del agua.** 1a edic. Edit. Limusa, México.

Soto, M; Méndez, R. y Lema J.M. (1992). **Determinación de toxicidad y biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales.** Depto de Ingeniería Química, Univ. de Santiago de Compostela.

Staley, James T; Bryant, Marvin P; Pfenning Norbert & Holt, John G. (1989). **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.** Williams & Wilkins, USA, Vol. 3.

Standard Methods. (1977). **For the examination of water and wastewater.** Edit. by Greenberg, Clesceri & Eaton, USA, 13th edit.

Standard Methods. (1985). **For the examination of water and wastewater.** Edit. by Greenberg, Clesceri & Eaton, USA, 15th edit.

Standard Methods. (1992). **For the examination of water and wastewater**. Edit. by Greenberg, Clesceri & Eaton, USA, 18th edit.

Steel, K.J. (1962). **The practice of bacterial identification: Microbial Classification**. Twelfth Symposium of the Society for General Microbiology Held at the Royal Institution, London. Cambridge Published for the Society for General Microbiology. National Collection of Type Cultures, Central Public Health Laboratory, Colindale London, N.W. 9. 405-432 pp

Steenon, T.I. and Robertson, P.S. (1961). **A comparison of biochemical and paper chromatographic methods for the identification of group D streptococci from Cheddar cheese**. J. Dairy Res. 28, 57.

Swanwick, J.D., W.J. Fisher and M. Foulkes. (1972). **Some aspects of sludge technology including new data on centrifugation**. Water Pollution Manual (Br.) HMSO.

Takashima, Masanobu. (1987). **Nutrient requirements for high rate conversion of acetate to methane**. Thesis. Ph. D. University Microfilms International.

Vesilind, P.Aarne. (1980). **Treatment and disposal of wastewater sludges**. Ann Arbor Science, USA, Revised edit. Cap. 1, 2, 3, 8 y 11.

Anexo A

TABLA A.1. Taxonomía de las Arqueobacterias (Staley et al, 1989).

I. Methanogenicas			
1. Methanobacterales	A. Methanobacteriaceae	a) Methanohacterium	i) <i>M. formicicum</i>
			ii) <i>M. thermautotrophicum</i>
			iii) <i>M. wolfei</i>
			iv) <i>M. oligosum</i>
			v) <i>M. alcaliphilum</i>
			vi) <i>M. thermoformicicum</i>
			vii) <i>M. byantii</i>
			viii) <i>M. thermalcaliphilum</i>
		b) Methanobrevibacter	i) <i>M. rumnanatum</i>
			ii) <i>M. smithii</i>
iii) <i>M. arboriphilicus</i>			
B. Methanothermaceae	a) Methanothermus	i) <i>M. fervidus</i>	
		ii) <i>M. sociabilis</i>	
2. Methanococcales	A. Methanococcaceae	a) Methanococcus	i) <i>M. vannielii</i>
			ii) <i>M. voltae</i>
			iii) <i>M. maripaludis</i>
			iv) <i>M. thermolithotrophicus</i>
			v) <i>M. thermolithotrophicus</i>

			v) <i>M. jannaschii</i>
			vi) <i>M. halophilus</i>
			vii) <i>M. frisiae</i>
3. Methanocrohiales	A. Methanomicrabiaceae	a) Methanomicrobium	i) <i>M. mobile</i>
			ii) <i>M. paynteri</i>
		b) Methanospirillum	i) <i>M. hungatei</i>
		c) Methanogenium	i) <i>M. carari</i>
			ii) <i>M. marisnigri</i>
			iii) <i>M. thermophilum</i>
			iv) <i>M. olentangyi</i>
			v) <i>M. tationis</i>
			vi) <i>M. aggregans</i>
	vii) <i>M. bourgense</i>		
	B. Methanosarcinaceae	a) Methanosarcina	i) <i>M. barkeri</i>
			ii) <i>M. mazei</i>
			iii) <i>M. acetivorans</i>
			iv) <i>M. thermophila</i>
v) <i>M. vacuolata</i>			
b) Methanolobus	i) <i>M. tindarius</i>		
	ii) <i>M. siciliae</i>		

			iii) <i>M. vulcani</i>
		c) Methanothrix	i) <i>M. saehngeni</i>
			ii) <i>M. concilii</i>
			iii) <i>M. thermoacetophila</i>
		d) Methanococcoides	i) <i>M. methylatus</i>
4. Otrus taxa	A. Methanoplanaceae	a) Methanoplanus	i) <i>M. limicola</i>
			ii) <i>M. endosymbiosus</i>
	B. Methanosphaera		i) <i>M. stadmanae</i>
II. Sulfato reductoras			
1. Arqueglolales	A. Arqueglolaceae	a) Arqueglolus	
III. Extremadamente halofílicas			
1. Halobacteriales	A. Halobacteriaceae	a) Halobacterium	i) <i>H. salinarium</i>
			ii) <i>H. saccharovorum</i>
			iii) <i>H. sodomense</i>
			iv) <i>H. trapanicum</i>
			v) <i>H. dentrificans</i>
		b) Halocarcula	i) <i>H. vallismortis</i>
			ii) <i>H. hispanica</i>
		c) Haloferax	i) <i>H. vulcanii</i>
			ii) <i>H. mediterranei</i>

			iii) <i>H. gibbonsii</i>
		d) <i>Halococcus</i>	i) <i>H. marthuae</i>
		e) <i>Natrobacterium</i>	i) <i>N. gregoryi</i>
			ii) <i>N. magadii</i>
			iii) <i>N. pharaonis</i>
		f) <i>Natrococcus</i>	i) <i>N. occultus</i>
IV. Con poca pared celular			
	A. <i>Thermoplasma</i>		i) <i>T. acidophilum</i>
V. Extremadamente termofílicas y metabolizadoras de azufre			
1. <i>Thermococcales</i>	A. <i>Thermococcaceae</i>	a) <i>Thermococcus</i>	i) <i>T. celer</i>
		b) <i>Pyrococcus</i>	i) <i>P. furiosus</i>
			ii) <i>P. woesei</i>
2. <i>Thermoproteales</i>	A. <i>Thermoproteaceae</i>	a) <i>Thermoproteus</i>	i) <i>T. tenax</i>
			ii) <i>T. neutrophilus</i>
		b) <i>Thermofilum</i>	i) <i>T. pendens</i>
	B. <i>Desulfurococcaeae</i>	a) <i>Desulfurococcus</i>	i) <i>D. mucosus</i>
			ii) <i>D. mobilis</i>
	C. Otras bacterias	a) <i>Staphylothermus</i>	i) <i>S. marinus</i>
		b) <i>Pyrodictium</i>	i) <i>P. occultum</i>
ii) <i>P. brockii</i>			

		c) Thermodiscus	
3. Sulfolobales		a) Sulfolus	i) <i>S. acidocaldarius</i>
			ii) <i>S. solfataricus</i>
		b) Acidianus	i) <i>A. infernus</i>
			ii) <i>A. brierleyi</i>

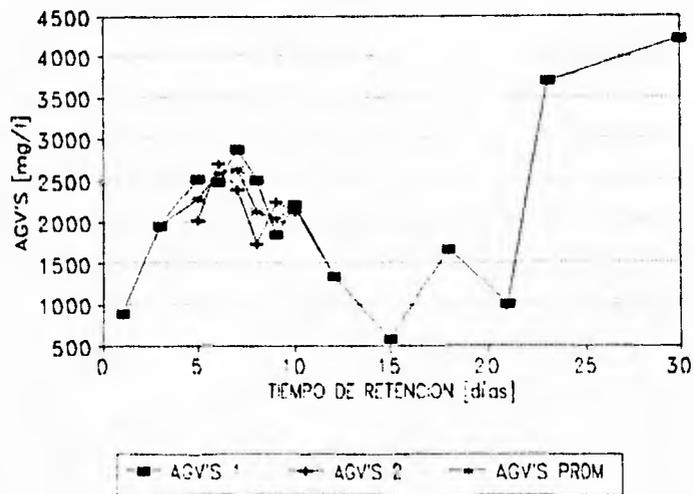
Anexo B

TABLA B.1.1. Acidos Grasos Volátiles
Para el lodo MUNICIPAL

TR [días]	ACIDOS GRASOS		VOLATILES	PIE PAG
	A	B	PROM	
1	888		888	
3	1948		1948	
5	2515	2028	2272	
6	2479	2694	2586	
7	2880	2384	2632	
8	2509	1737	2123	b
9	1852	2241	2046	
10	2208	2126	2167	
12	1345		1345	
15	577		577	f
18	1676		1676	
21	1010		1010	
23	3712		3712	
30	4211		4211	

Acidos grasos volátiles = [mg/l]

FIG. B.1.1. COMPORTAMIENTO DE AGV'S
PARA EL LODO MUNICIPAL



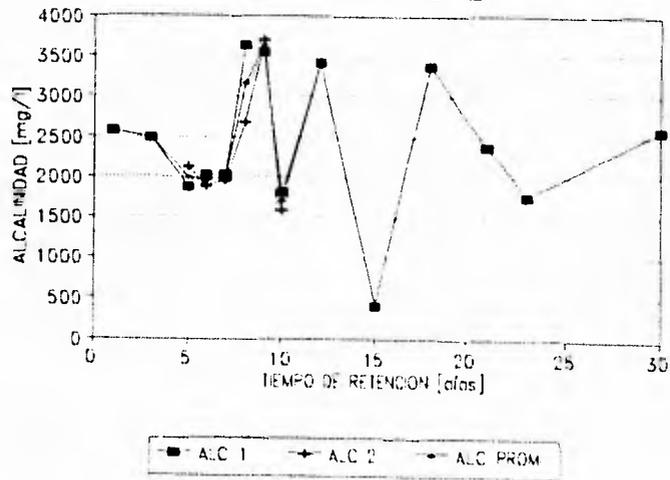
- b datos leídos un día después
f dato obtenido de otro lote, bajo las mismas condiciones.

TABLA B.1.2. Alcalinidad Total para el lodo MUNICIPAL

TR [días]	ALCALINIDAD			PIE PAG
	1	2	PROM	
1	2582		2582	
3	2498		2498	
5	1876	2132	2004	
6	2034	1899	1966	
7	2037	1959	1998	
8	3636	2688	3162	
9	3547	3699	3623	
10	1818	1581	1700	b
12	3426		3426	
15	417		417	f
18	3373		3373	
21	2387		2387	
23	1768		1768	
30	2591		2591	

Alcalinidad = [mg/l]

FIG.B.1.2. COMPORTAMIENTO ALCALINIDAD PARA EL LODO MUNICIPAL

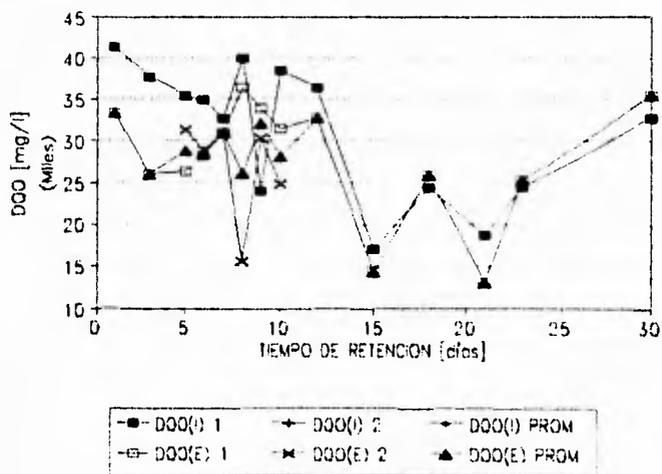


- b dato leído un día después.
- f dato obtenido de otro lote, bajo las mismas condiciones.

TABLA B.1.3. Demanda Química de Oxígeno de entrada y salida para el lodo MUNICIPAL.

TR [días]	DQO INFLUENTE [mg/l]			PIE PAG	DQO EFLUENTE [mg/l]			PIE PAG
	A	B	PROM		A	B	PROM	
1	41370		41370	a, b	33343		33343	b
3	37748		37748	b	26021		26021	b
5	35510	35510	35510	b	26265	31241	28753	b
6	35086	35086	35086	b	28233	28848	28540	b
7	32555	32555	32555	b	30870	30811	30841	b
8	39925	39925	39925	b	36425	15633	26029	b
9	23970	23970	23970	c	33893	30198	32045	b
10	38480	38480	38480	b	31385	24706	28046	g
12	36443		36443		32711		32711	b
15	17172		17172	f	14400		14400	f
18	24384		24384		25885		25885	b
21	18693		18693		13040		13040	
23	24384		24384		25194		25194	b
30	32756		32756	b	35524		35524	

FIG.B.1.3. COMPORTAMIENTO DE DQO PARA EL LODO MUNICIPAL



- a los reactivos de DQO fueron los residuos de primer lote.
- b la lectura espectrofotométrica de DQO fue leída un día después de su preparación.
- c cambio de reactivos de otro lote para DQO.
- f dato obtenido de otro lote, bajo las mismas condiciones.
- g dato leído o preparado por otra persona.

TABLA B.1.4. Producción de METANO en cada reactor para el lodo MUNICIPAL.

Tr [Días]	METANO [ml]		
	1	2	PROM
1	31.4		31.4
3	59		59
5	777.2	233.6	505.4
6	154.6	199.6	177.1
7	724	637	680.5
8	171.2	374.9	273.05
9	420.9	321.5	376
10	322.8	1875.4	1099
12	625.8		625.8
15	1186.7		1186.7
18	1072.4		1072.4
21	856.2		856.2
23	6278.2		6278.2
30	3375		3375

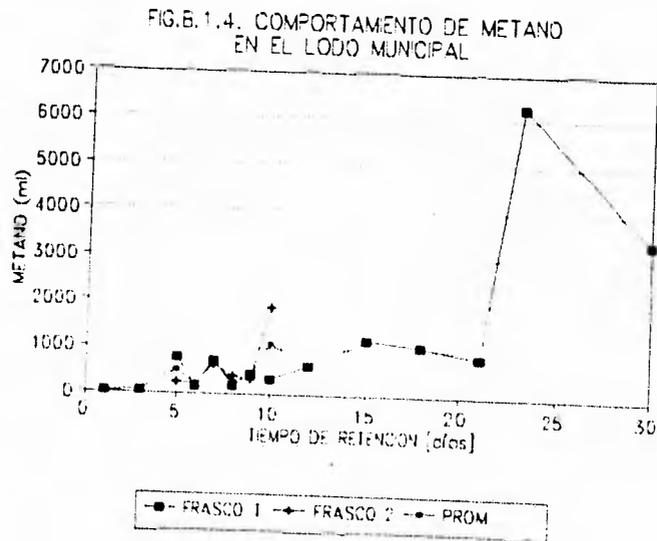


TABLA B.1.5.1. SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DEL LODO MUNICIPAL

TR [días]	SST inf [mg/l]			SST efl [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	23289		23289	20476		20476
3	12450		12450	10900		10900
5	12450	12450	12450	10133	12182	11158
6	12450	12450	12450	16400	12599	15000
7	12450	12450	12450	13321	12603	12962
8	23289	23289	23289	10150	11958	11054
9	23289	23289	23289	13362	14917	14140
10	23289	23289	23289	24333	13700	19017
12	16550		16550	14831		14831
15	12450		12450	6067		6067
18	9450		9450	11133		11133
21	9450		9450	6644		6644
23	9450		9450	10333		10333
30	9450		9450	8027		8027

TABLA B.1.5.2. SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES DEL LODO MUNICIPAL

TR [días]	SSV inf [mg/l]			SSV efl [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	17098		17098	14964		14964
3	9650		9650	7850		7850
5	9650	9650	9650	7600	9636	8618
6	9650	9650	9650	11400	9786	10593
7	9650	9650	9650	9363	8836	9100
8	17098	17098	17098	7350	8375	7863
9	17098	17098	17098	10080	11333	10707
10	17098	17098	17098	19583	13450	16517
12	13400		13400	11408		11408
15	9650		9650	4200		4200
18	8300		8300	7846		7846
21	8300		8300	4333		4333
23	8300		8300	8897		8894
30	8300		8300	5081		5081

FIG.B.1.5.1. COMPORTAMIENTO DE SST PARA EL LODO MUNICIPAL

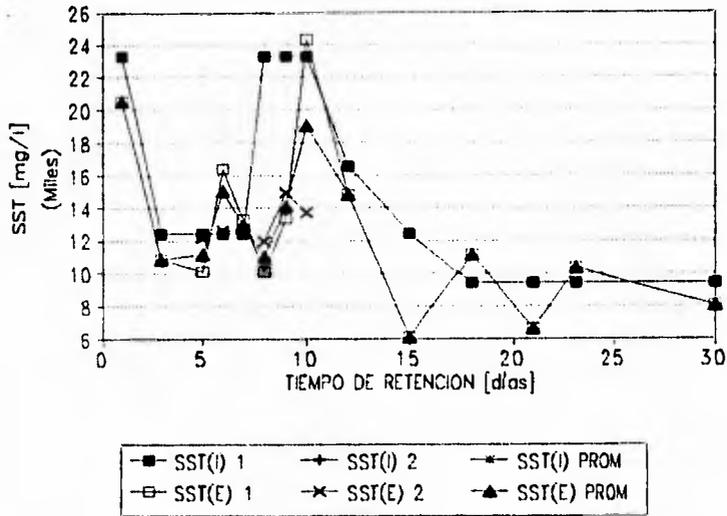


FIG.B.1.5.2. COMPORTAMIENTO DE SSV PARA EL LODO MUNICIPAL

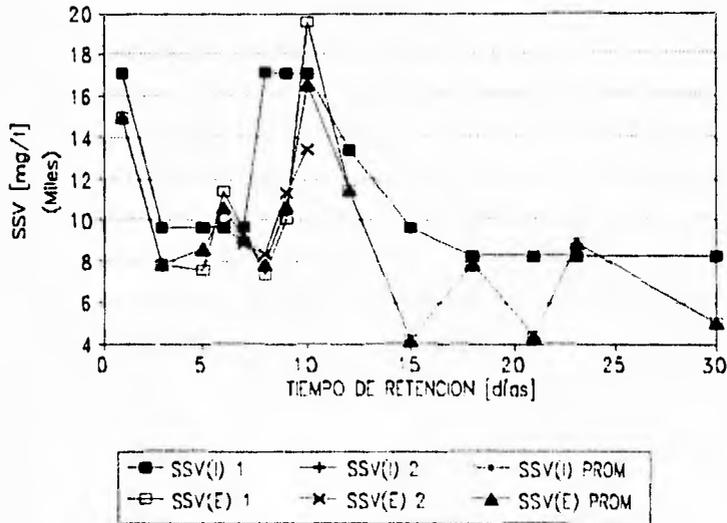


TABLA B.1.5.3. SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS DEL LODO MUNICIPAL

TR [días]	SSF inf [mg/l]			SSF efi [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	6191		6191	5512		5512
3	2800		2800	3050		3050
5	2800	2800	2800	2533	2545	2540
6	2800	2800	2800	5000	3813	4407
7	2800	2800	2800	3958	3767	3863
8	6191	6191	6191	2800	3583	3192
9	6191	6191	6191	3282	3583	3433
10	6191	6191	6191	4750	250	2500
12	3150		3150	3423		3423
15	2800		2800	1867		1867
18	1150		1150	3287		3287
21	1150		1150	2311		2311
23	1150		1150	1439		1439
30	1150		1150	2946		2946

TABLA B.1.5.4. SOLIDOS TOTALES DEL LODO MUNICIPAL

TR [días]	ST inf [mg/l]			ST efi [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	23655		23655	30563		30563
3	24405		24405	19894		19894
5	24405	24405	24405	19825	19245	19535
6	24405	24405	24405	17362	16670	17016
7	24405	24405	24405	19317	17461	18389
8	23655	23655	23655	17561	15275	16418
9	23655	23655	23655	18928	19298	19113
10	23655	23655	23655	16463	17133	16798
12	23530		23530	18213		18213
15	24405		24405	10710		10710
18	12058		12058	13760		13760
21	12058		12058	8117		8117
23	12058		12058	19872		19872
30	12058		12058	15890		15890

FIG.B.1.5.3. COMPORTAMIENTO DE SSF PARA EL LODO MUNICIPAL

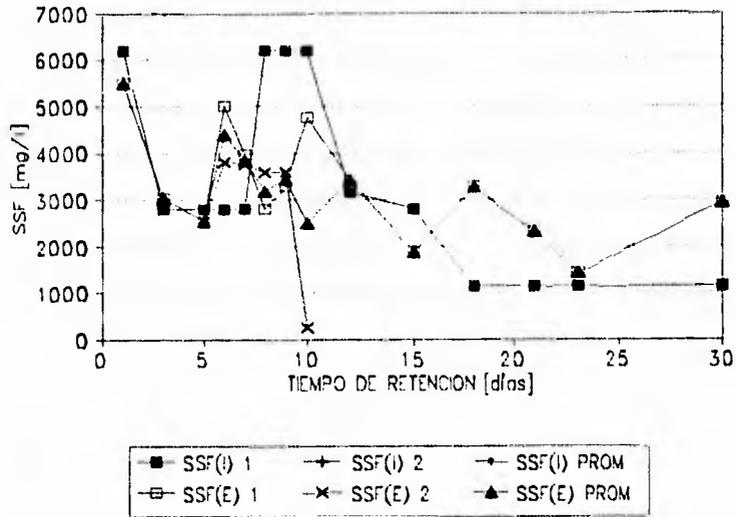


FIG.B.1.5.4. COMPORTAMIENTO DE ST PARA EL LODO MUNICIPAL

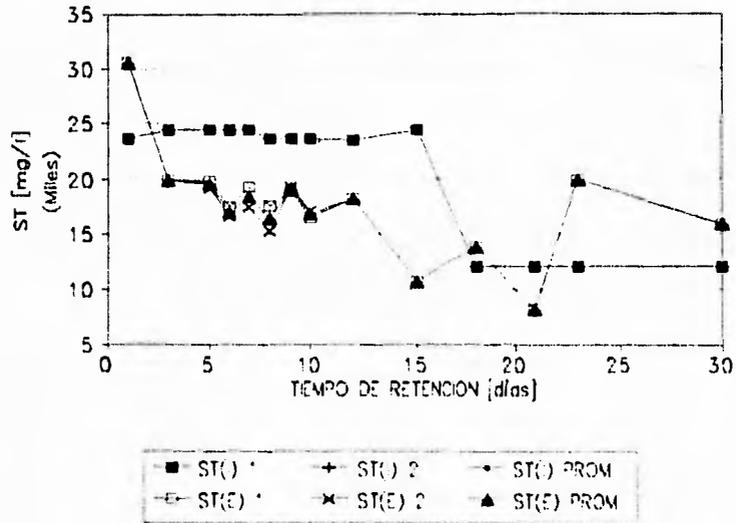


TABLA B.1.5.5. SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES DEL LODO MUNICIPAL

TR [días]	STV inf [mg/l]			STV efi [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	16785		16785	19218		19218
3	18355		18355	13995		13995
5	18355	18355	18355	14470	14175	14323
6	18355	18355	18355	13062	12030	12546
7	18355	18355	18355	13898	12262	13080
8	16785	16785	16785	11837	11220	11529
9	16785	16785	16785	13577	13839	13708
10	16785	16785	16785	11472	11711	11592
12	18555		18555	12585		12585
15	18355		18355	n.d.		n.d.
18	8650		8650	9243		9243
21	8650		8650	4980		4980
23	8650		8650	14172		14172
30	8650		8650	11223		11223

TABLA B.1.5.6. SÓLIDOS TOTALES FIJOS DEL LODO MUNICIPAL

TR [días]	STF inf [mg/l]			STF efi [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	6870		6870	11345		11345
3	6050		6050	5899		5899
5	6050	6050	6050	5355	5070	5213
6	6050	6050	6050	4300	4640	4470
7	6050	6050	6050	5420	5199	5309
8	6870	6870	6870	5725	4055	4890
9	6870	6870	6870	5351	5458	5405
10	6870	6870	6870	4992	5422	5207
12	4975		4975	5628		5628
15	6050		6050	n.d.		n.d.
18	3408		3408	4518		4517
21	3408		3408	3137		3137
23	3408		3408	5700		5700
30	3408		3408	4667		4667

FIG.B.1.5.5. COMPORTAMIENTO DE STV PARA EL LODO MUNICIPAL

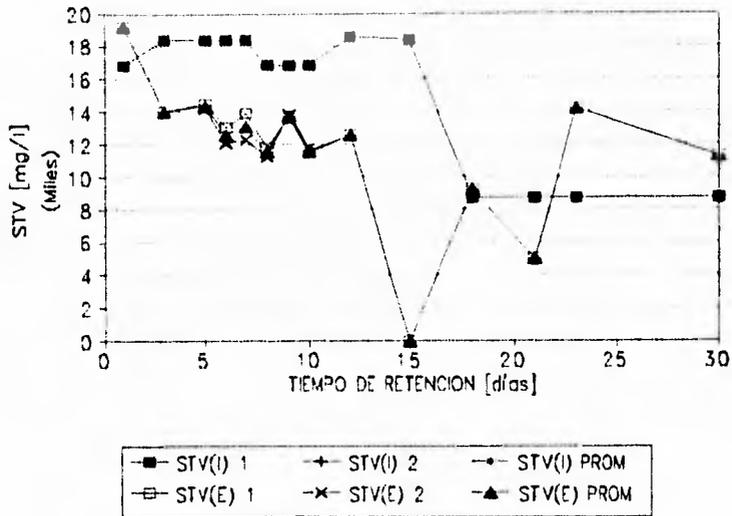


FIG.B.1.5.6. COMPORTAMIENTO DE STF PARA EL LODO MUNICIPAL

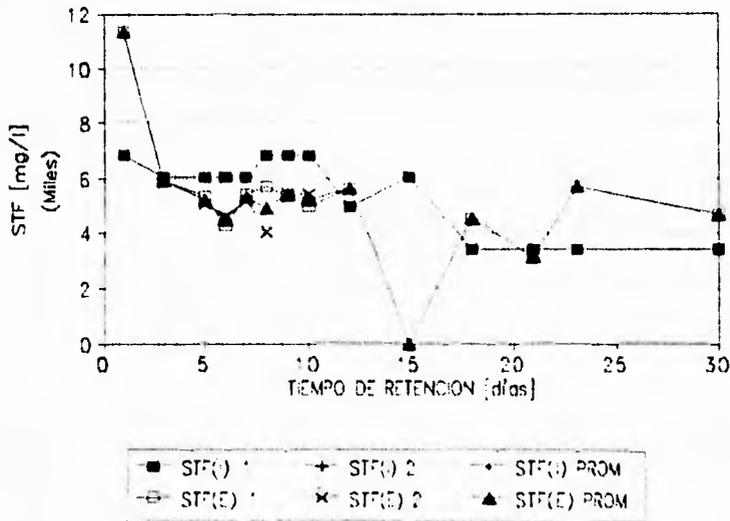


TABLA B.1.5.7. SÓLIDOS DEL LODO MUNICIPAL INFLUENTE

TR [días]	% SÓLIDOS inf			% SÓLIDOS efl		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	2.45		2.45	3.14		3.14
3	2.47		2.47	2.10		2.10
5	2.47	2.47	2.47	2.05	1.94	2.00
6	2.47	2.47	2.47	1.87	1.69	1.78
7	2.47	2.47	2.47	1.98	1.86	1.92
8	2.45	2.45	2.45	1.86	1.59	1.73
9	2.45	2.45	2.45	1.96	2.00	1.98
10	2.45	2.45	2.45	1.67	1.80	1.74
12	2.46		2.46	1.86		1.86
15	2.54		2.54	1.14		1.14
18	1.21		1.21	1.43		1.43
21	1.21		1.21	0.85		0.85
23	1.21		1.21	2.11		2.11
30	1.21		1.21	1.70		1.70

TABLA B.1.5.8. HUMEDAD DEL LODO MUNICIPAL EFLUENTE

TR [días]	% AGUA inf			% AGUA efl		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	97.55		97.55	96.86		96.86
3	97.53		97.53	97.90		97.90
5	97.53	97.53	97.53	97.95	98.06	98.01
6	97.53	97.53	97.53	98.13	98.31	98.22
7	97.53	97.53	97.53	98.02	98.14	98.08
8	97.55	97.55	97.55	98.14	98.41	98.28
9	97.55	97.55	97.55	98.04	98.00	98.02
10	97.55	97.55	97.55	98.33	98.20	98.27
12	97.54		97.54	98.14		98.14
15	97.46		97.46	98.86		98.86
18	98.79		98.79	98.57		98.57
21	98.79		98.79	99.15		99.15
23	98.79		98.79	97.89		97.89
30	98.79		98.79	98.30		98.30

FIG.B.1.5.7. COMPORTAMIENTO DE % SOL.
PARA EL LODO MUNICIPAL

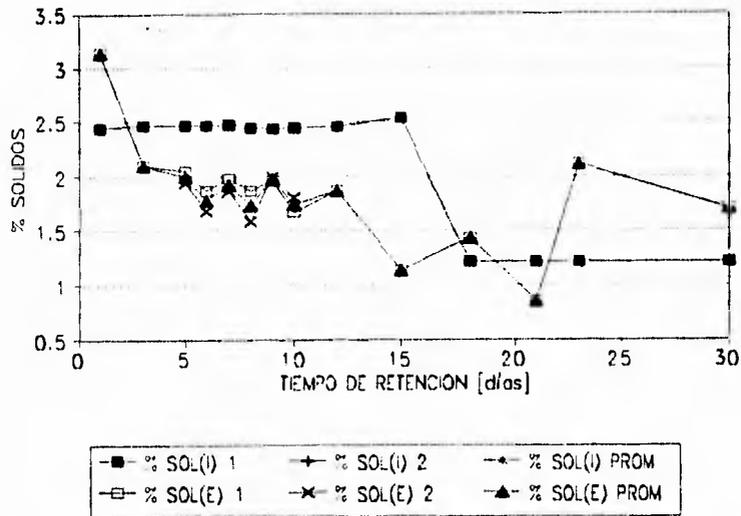


FIG.B.1.5.8. COMPORTAMIENTO DE % AGUA
PARA EL LODO MUNICIPAL

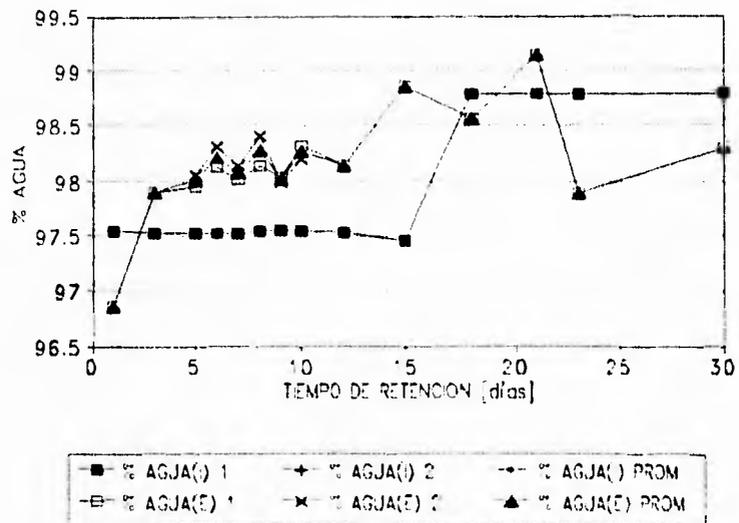
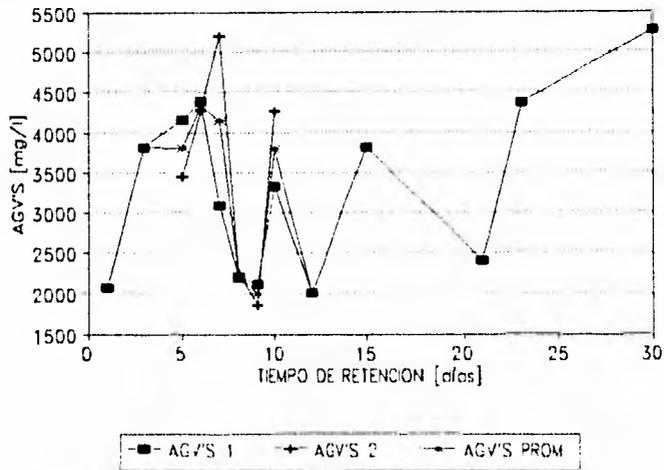


TABLA B.2.1. Acidos Grasos Volátiles para el lodo INDUSTRIAL

TR [días]	ACIDOS	GRASOS	VOLATILES	PIE PAG
	A	B	PROM	
1	2090		2090	
3	3813		3813	
5	4155	3449	3802	
6	4400	4274	4337	
7	3100	5201	4151	
8	2200	2255	2227	b
9	2127	1854	1990	
10	3331	4268	3799	
12	2013		2013	
15	3820		3820	
21	2422		2422	
23	4375		4375	
30	5272		5272	

Acidos grasos volátiles = [mg/l]

FIG.B.2.1. COMPORTAMIENTO DE AGV'S PARA EL LODO INDUSTRIAL



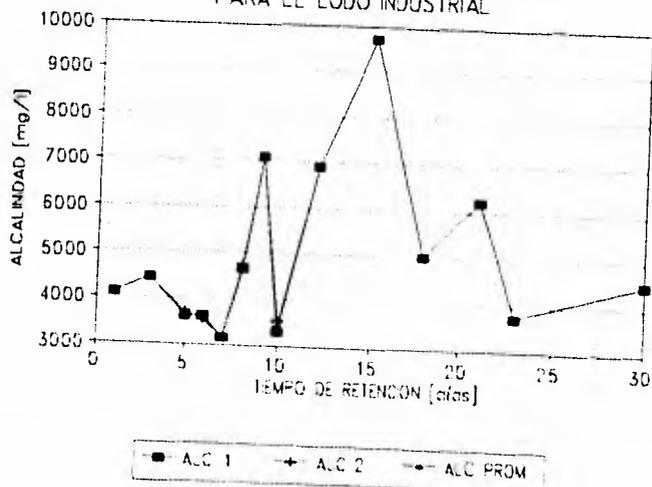
b dato leído un día después.
 NOTA: el dato 18 días de retención perdido.

TABLA B.2.2. Alcalinidad Total
para el lodo INDUSTRIAL

TR [días]	ALCALINIDAD			PIE PAG
	1	2	PROM	
1	4111		4111	
3	4444		4444	
5	3627	3713	3670	
6	3640	3538	3589	
7	3156	3156	3156	
8	4638	4743	4690	
9	7090	7102	7096	
10	3279	3523	3401	b
12	6904		6904	
15	9750		9750	
18	5007		5007	
21	6219		6219	
23	3736		3736	
30	4503		4503	

Alcalinidad = [mg/l]

FIG. B.2.2. COMPORTAMIENTO ALCALINIDAD
PARA EL LODO INDUSTRIAL

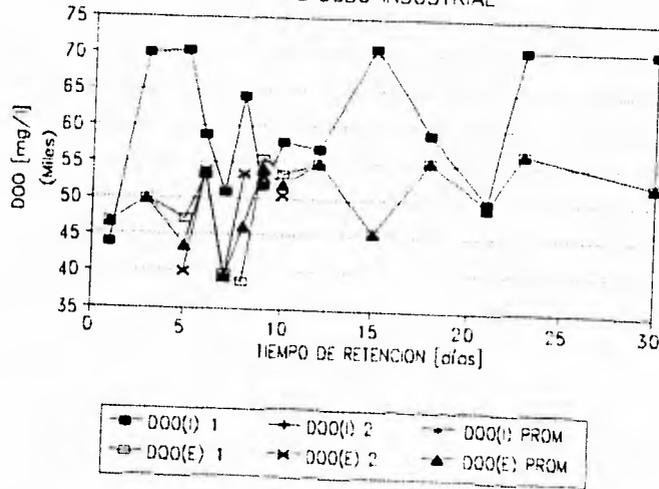


b dato leído un día después.

TABLA B.2.3. Demanda Química de Oxígeno de entrada y salida para el lodo INDUSTRIAL

TR [días]	DQO INFLUENTE [mg/l]			PIE PAG	DQO EFLUENTE [mg/l]			PIE PAG
	A	B	PROM		A	B	PROM	
1	44058		44058	a, b	46748		46748	b
3	70008		70008	b	50023		50023	b
5	70395	70395	70395	b	47143	40135	43639	b
6	58720	58720	58720	b	53218	53810	53514	b
7	50925	50925	50925	b	39585	39093	39339	b
8	64115	64115	64115	b	38768	53353	46060	b
9	51850	51850	51850	c	55483	52970	54226	b
10	57935	57935	57935	b	53475	50608	52041	g
12	57085		57085		54975		54975	b, g
15	70890		70890	d	45410		45410	
18	59190		59190		55420		55420	b
21	49995		49995	b, e	49300		49300	
23	70890		70890	d	56743		56743	b
30	70890		70890	d	52808		52808	b

FIG.B.2.3. COMPORTAMIENTO DE DQO PARA EL LODO INDUSTRIAL



- a los reactivos de DQO fueron los residuos del primer lote.
- b la lectura espectrofotométrica de DQO fue leída un día después.
- c cambio de reactivos de otro lote para DQO.
- d se empezó a trabajar con diluciones de 0.01 % v/v.
- e se requirió de una dilución, pero no se hizo.
- g dato leído o preparado por otra persona.

TABLA B.2.4. Producción de METANO en cada reactor para el lodo INDUSTRIAL

Tr [Días]	METANO [ml]		
	1	2	PROM
1	30.4		30.4
3	236		236
5	521.2	80.2	300.7
6	129.4	284	206.7
7	324	139	231.5
8	306.3	107.8	207.05
9	1744	339.4	1041.7
10	1008	1342.5	1175.25
12	150.7		150.7
15	645.6		645.6
18	511		511
21	484.6		484.6
23	1007.7		1007.7
30	2379.2		2379.2

FIG.B.2.4. COMPORTAMIENTO DE METANO EN EL LODO INDUSTRIAL

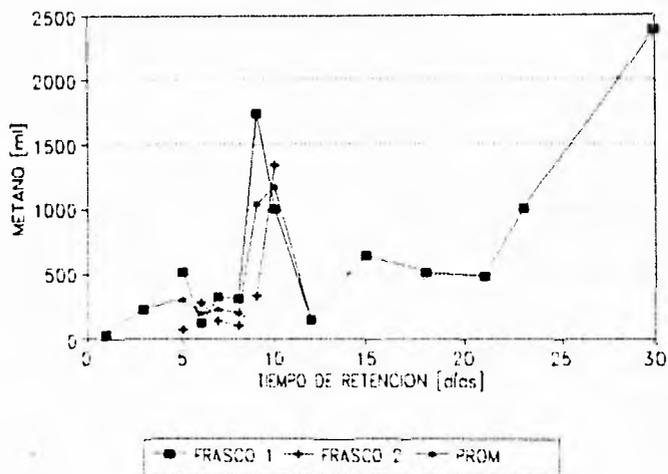


TABLA B.2.5.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	SST [mg/l]			SST [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	24980		24980	26293		26293
3	53250		53250	22400		22400
5	53250	53250	53250	22667	24000	23334
6	53250	53250	53250	23500	21628	22564
7	53250	53250	53250	15532	21300	18416
8	24980	24980	24980	10000	18500	14250
9	24980	24980	24980	20742	22589	21666
10	24980	24980	24980	50250	27667	38959
12	29127		29127	28583		28583
15	23150		23150	24905		24905
18	23150		23150	18500		18500
21	23150		23150	28550		28550
23	23150		23150	21262		21262
30	23150		23150	18406		18406

TABLA B.2.5.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	SSV [mg/l]			SSV [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	20595		20595	20259		20259
3	44500		44500	16200		16200
5	44500	44500	44500	15333	19429	17381
6	44500	44500	44500	18750	15026	16888
7	44500	44500	44500	11169	15067	13118
8	20595	20595	20595	6700	11500	9100
9	20595	20595	20595	16485	17911	17198
10	20595	20595	20595	38167	22333	30250
12	24565		24565	21292		21292
15	17750		17750	19000		19000
18	17750		17750	12333		12333
21	17750		17750	20550		20550
23	17750		17750	16190		16190
30	17750		17750	12750		12750

FIG.B.2.5.1. COMPORTAMIENTO DE SST PARA EL LODO INDUSTRIAL

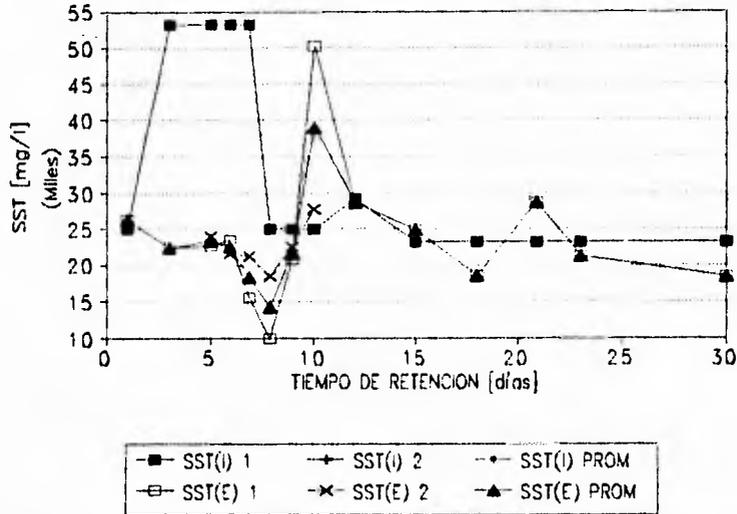


FIG.B.2.5.2. COMPORTAMIENTO DE SSV PARA EL LODO INDUSTRIAL

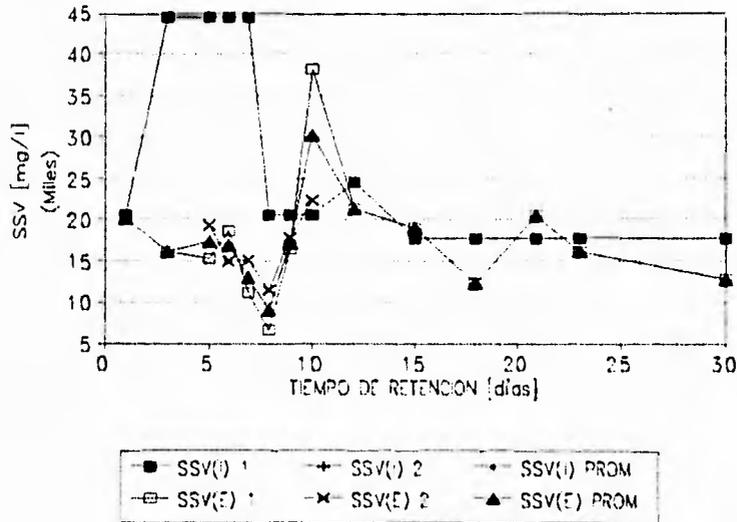


TABLA B.2.5.3. SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	SSF [mg/l]			SSF [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	4385		4385	6034		6034
3	8750		8750	6200		6200
5	8750	8750	8750	7334	4571	5953
6	8750	8750	8750	4750	6603	5676
7	8750	8750	8750	4364	6233	5298
8	4385	4385	4385	3300	7000	5150
9	4385	4385	4385	4258	4678	4468
10	4385	4385	4385	12083	5333	8709
12	4563		4563	7292		7291
15	5400		5400	5905		5905
18	5400		5400	6167		6167
21	5400		5400	8000		8000
23	5400		5400	5071		5072
30	5400		5400	5656		5656

TABLA B.2.5.4. SOLIDOS TOTALES DEL LODO INDUSTRIAL

TR [días]	ST [mg/l]			ST [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	30550		30550	31003		31003
3	38438		38438	25081		25081
5	38438	38438	38438	25776	24870	25323
6	38438	38438	38438	24090	24800	24445
7	38438	38438	38438	19730	23429	21580
8	30550	30550	30550	24011	25999	25005
9	30550	30550	30550	26972	27460	27216
10	30550	30550	30550	24033	23221	23627
12	35930		35930	27757		27757
15	31876		31876	26395		26395
18	31876		31876	22855		22855
21	31876		31876	25120		25120
23	31876		31876	24101		24101
30	31876		31876	26238		26238

FIG.B.2.5.3. COMPORTAMIENTO DE SSF PARA EL LODO INDUSTRIAL

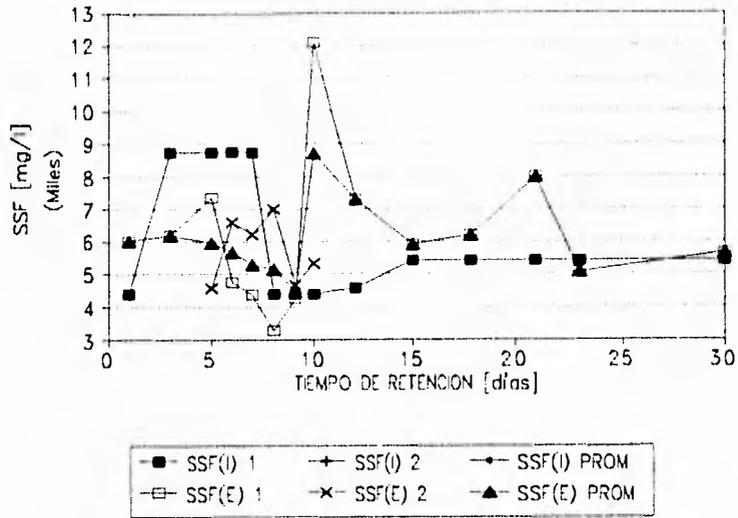


FIG.B.2.5.4. COMPORTAMIENTO DE ST PARA EL LODO INDUSTRIAL

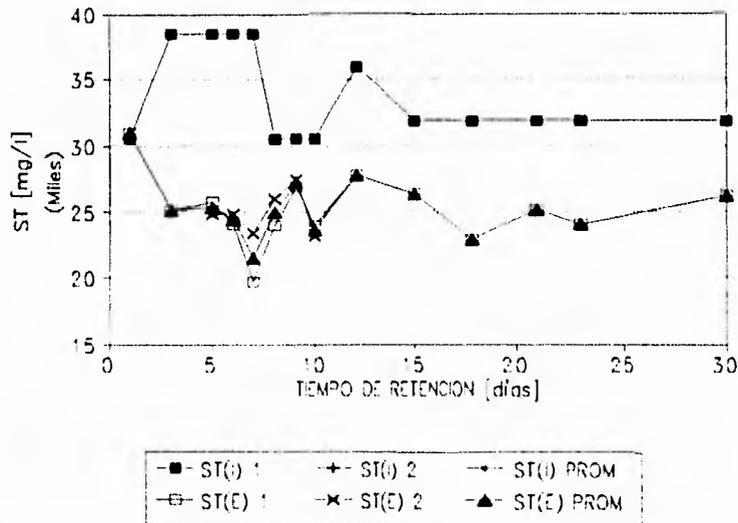


TABLA B.2.5.5: SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	STV [mg/l]			STV [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	21885		21885	22009		22009
3	28352		28352	18189		18189
5	28352	28352	28352	18460	17625	18043
6	28352	28352	28352	17010	17770	17390
7	28352	28352	28352	14030	17097	15564
8	21885	21885	21885	17098	18586	17842
9	21885	21885	21885	19613	19835	19724
10	21885	21885	21885	16493	16349	16421
12	27335		27335	19396		19396
15	26064		26064	18636		18636
18	26064		26064	16085		16085
21	26064		26064	18320		18320
23	26064		26064	16772		16772
30	26064		26064	18867		18867

TABLA B.2.5.6. SÓLIDOS TOTALES FIJOS DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	STF [mg/l]			STF [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	8665		8665	8994		8994
3	10085		10085	6892		6892
5	10085	10085	10085	7316	4245	5781
6	10085	10085	10085	7080	7030	7055
7	10085	10085	10085	5700	6332	6016
8	8665	8665	8665	6913	7413	7163
9	8665	8665	8665	7359	7625	7492
10	8665	8665	8665	7540	6871	7206
12	8595		8595	8361		8361
15	5812		5812	7759		7759
18	5812		5812	6770		6770
21	5812		5812	6800		6800
23	5812		5812	7329		7329
30	5812		5812	7371		7371

FIG.8.2.5.5. COMPORTAMIENTO DE STV PARA EL LODO INDUSTRIAL

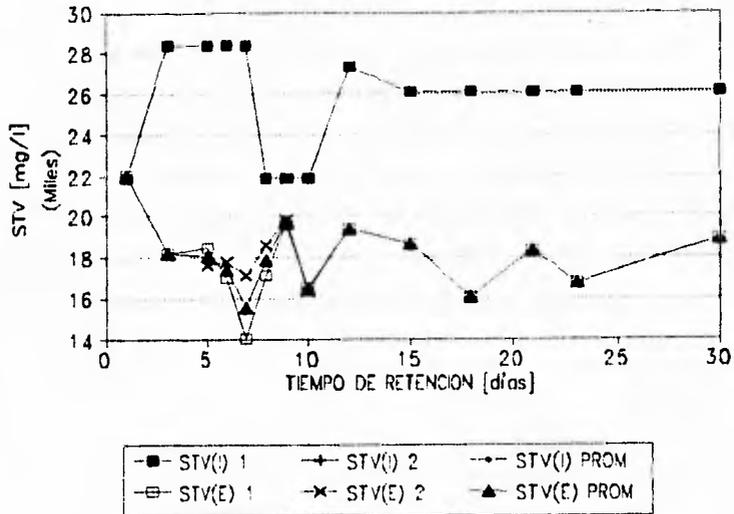


FIG.8.2.5.6. COMPORTAMIENTO DE STF PARA EL LODO INDUSTRIAL

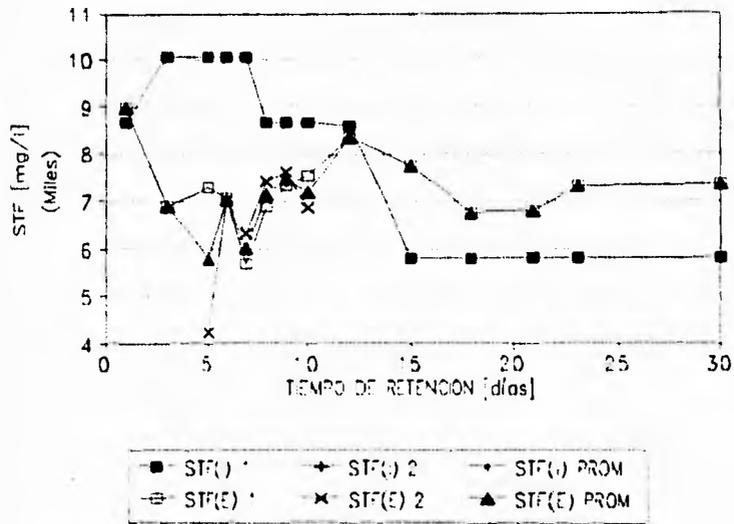


TABLA B.2.5.7. SOLIDOS DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	% SOLIDOS			% SOLIDOS		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	3.22		3.22	3.23		3.23
3	4.06		4.06	2.64		2.64
5	4.06	4.06	4.06	2.69	2.56	2.63
6	4.06	4.06	4.06	2.57	2.59	2.58
7	4.06	4.06	4.06	2.12	2.46	2.29
8	3.22	3.22	3.22	2.46	2.71	2.59
9	3.22	3.22	3.22	2.79	2.81	2.80
10	3.22	3.22	3.22	2.53	2.39	2.46
12	3.52		3.52	2.90		2.90
15	3.29		3.29	2.73		2.73
18	3.29		3.29	2.42		2.42
21	3.29		3.29	2.55		2.55
23	3.29		3.29	2.55		2.55
30	3.29		3.29	2.84		2.84

TABLA B.2.5.8. HUMEDAD DEL LODO INDUSTRIAL.

TR [días]	% AGUA			% AGUA		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	96.78		96.78	96.77		96.77
3	95.94		95.94	97.36		97.36
5	95.94	95.94	95.94	97.31	97.44	97.38
6	95.94	95.94	95.94	97.43	97.41	97.42
7	95.94	95.94	95.94	97.88	97.54	97.71
8	96.78	96.78	96.78	97.54	97.29	97.42
9	96.78	96.78	96.78	97.21	97.19	97.20
10	96.78	96.78	96.78	97.47	97.61	97.54
12	96.48		96.48	97.10		97.10
15	96.71		96.71	97.27		97.27
18	96.71		96.71	97.58		97.58
21	96.71		96.71	97.45		97.45
23	96.71		96.71	97.45		97.45
30	96.71		96.71	97.16		97.16

FIG.B.2.5.7. COMPORTAMIENTO DE % SOL.
PARA EL LODO INDUSTRIAL

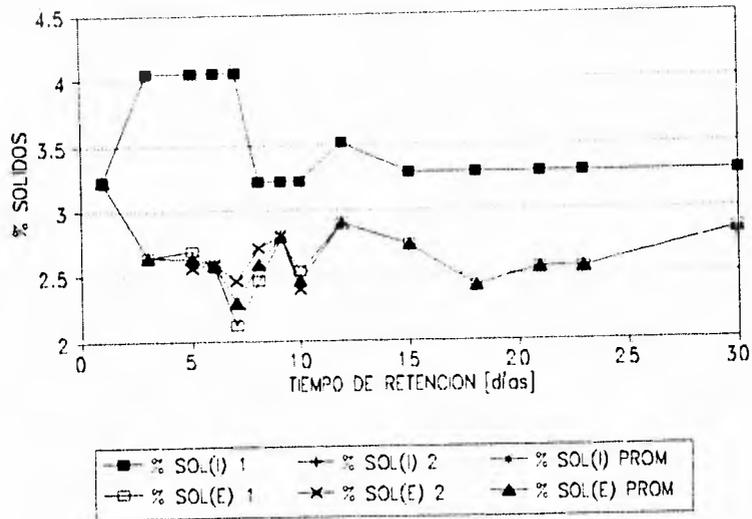


FIG.B.2.5.8. COMPORTAMIENTO DE % AGUA
PARA EL LODO INDUSTRIAL

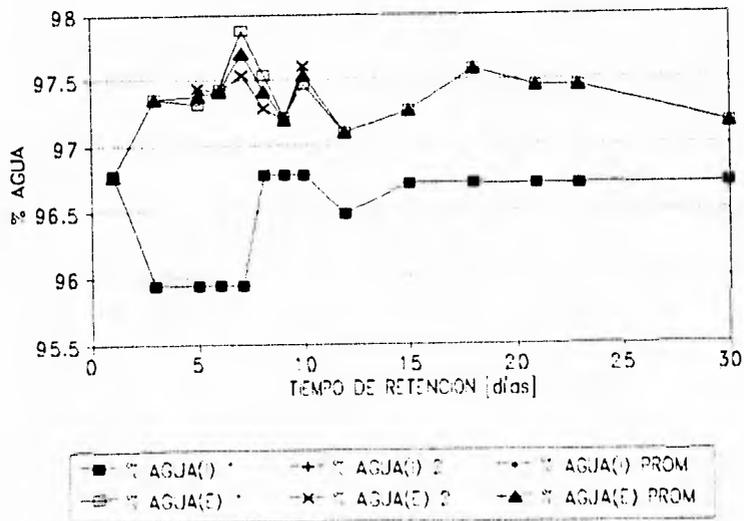
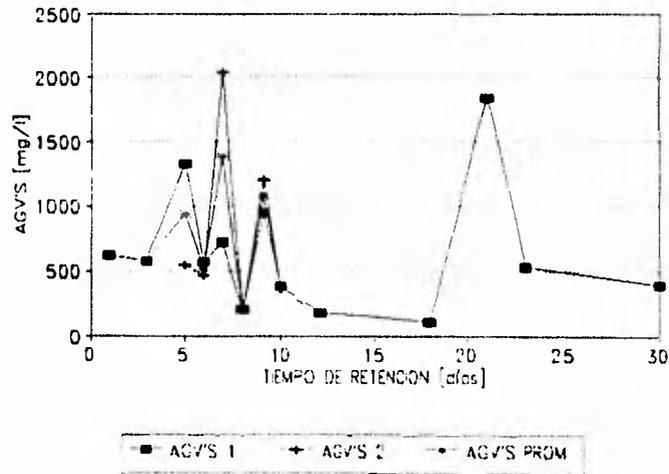


TABLA B.3.1. Acidos Grasos Volátiles
para el lodo PARCIALMENTE DIGERIDO

TR [días]	ACIDOS GRASOS		VOLATILES PROM	PIE PAG
	A	B		
1	622		622	
3	579		579	
5	1330	547	939	
6	567	468	517	
7	725	2039	1382	
8	204	206	205	b
9	951	1202	1076	
10	391	366	379	
12	181		181	
18	107		107	
21	1840		1840	
23	532		532	
30	395		395	

Acidos grasos volátiles = [mg/l]

FIG.B.3.1. COMPORTAMIENTO DE AGV'S
PARA EL LOJO PARCIALMENTE DIGERIDO

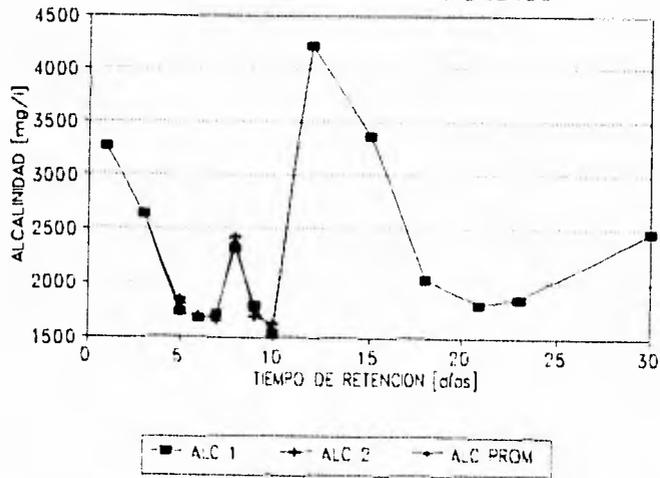


b dato leído un día después.
NOTA: e dato de 15 días de retención perdido.

TABLA B.3.2. Alcalinidad Total
para el lodo PARCIALMENTE DIGERIDO

TR [días]	ALCALINIDAD			PE PAG
	1	2	PROM	
1	3267		3267	
3	2635		2635	
5	1741	1856	1799	
6	1676	1701	1689	
7	1703	1643	1673	
8	2319	2424	2372	
9	1788	1674	1731	
10	1520	1615	1568	b
12	4216		4216	
15	3373		3373	
18	2042		2042	b
21	1804		1804	
23	1855		1855	
30	2477		2477	

FIG.B.3.2. COMPORTAMIENTO ALCALINIDAD
PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

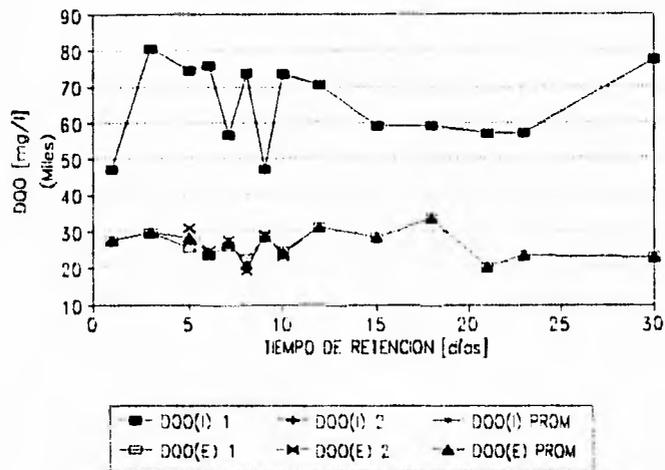


b dato leído un día después.

TABLA B.3.3. Demanda Química de Oxígeno de entrada y salida para el lodo PARCIALMENTE DIGERIDO

TR (días)	DOO INFLUENTE [mg/l]			PIE PAG	DOO EFLUENTE [mg/l]			PIE PAG
	A	B	PROM		A	B	PROM	
1	47175		47175	b, c	27869		27869	b
3	80570		80570	b	29941		29941	b
5	74348	74348	74348	b	25670	31064	28367	b
6	75868	75868	75868	b	23604	24721	24163	b
7	56565	56565	56565	b	26066	27845	26956	b
8	73845	73845	73845	b, g	22676	19171	20924	b
9	47175	47175	47175	b, c	28438	29246	28842	b
10	73663	73663	73663	b	24970	23268	24119	
12	70615		70615		31309		31309	b
15	59113		59113		28440		28440	b
18	59113		59113		33274		33274	
21	57050		57050	b	20546		20546	b
23	57050		57050	b	23574		23574	b
30	77308		77308		22980		22980	b

FIG.B.3.3. COMPORTAMIENTO DE DOO PARA EL LOJO PRETRATADO



- b la lectura espectrofotométrica de DOO fue leída un día después.
- c cambio de reactivos de otro lote para DOO.
- g dato leído o preparado por otra persona.

TABLA B.3.4. Producción de METANO en cada reactor, para el lodo PARCIALMENTE DIGERIDO

Tr [Días]	METANO [ml]		PROM
	1	2	
1	17.8		17.8
3	55.8		55.8
5	104.4	409	256.7
6	514	1173	843.5
7	621.6	492.6	557.1
8	451.6	117	284.3
9	692.2	1178.3	935.25
10	193.3	769.2	481.25
12	311.4		311.4
15	826.2		826.2
18	1532.6		1532.6
21	1157		1157
23	1659.2		1659.2
30	2463.2		2463.2

FIG.B.3.4. COMPORTAMIENTO DE METANO EN EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

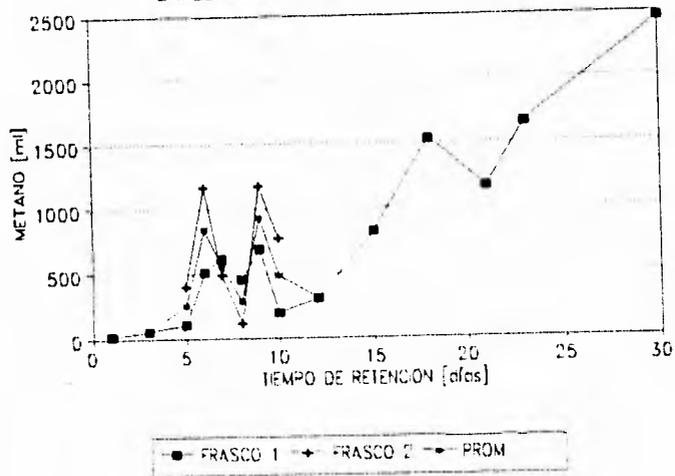


TABLA B.3.5.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DEL LODO PRETRATADO

TR [días]	SST [mg/l]			SST [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	23150		23150	42196		42196
3	49500		49500	33037		33037
5	49500	49500	49500	33889	39677	36783
6	49500	49500	49500	44571	28048	36310
7	49500	49500	49500	27369	68505	47937
8	23150	23150	23150	12000	16310	14155
9	23150	23150	23150	31738	31833	31786
10	23150	23150	23150	22000	23950	22975
12	38808		38808	35163		35163
15	38808		38808	28600		28600
18	38808		38808	28455		28455
21	26150		26150	18667		18667
23	26150		26150	15833		15833
30	26150		26150	15500		15500

TABLA B.3.5.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES DEL LODO PRETRATADO

TR [días]	SSV [mg/l]			SSV [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	12757		12757	21268		21268
3	30250		30250	15500		15500
5	30250	30250	30250	14444	21290	17867
6	30250	30250	30250	23714	12595	18155
7	30250	30250	30250	13705	54753	34229
8	12757	12757	12757	6000	7881	6941
9	12757	12757	12757	16162	16500	16331
10	12757	12757	12757	17667	14850	16259
12	20820		20820	16049		16049
15	20820		20820	13400		13400
18	20820		20820	13773		13773
21	13950		13950	11261		11261
23	13950		13950	9167		9167
30	13950		13950	7238		7238

FIG.B.3.5.1. COMPORTAMIENTO DE SST PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

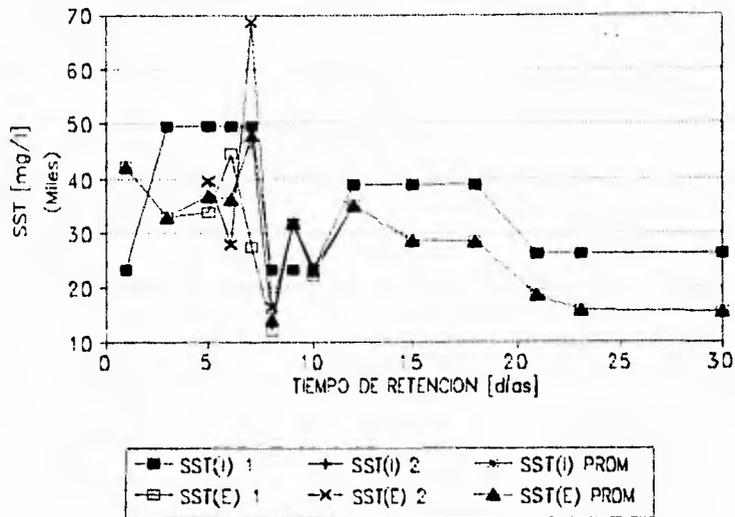


FIG.B.3.5.2. COMPORTAMIENTO DE SSV PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

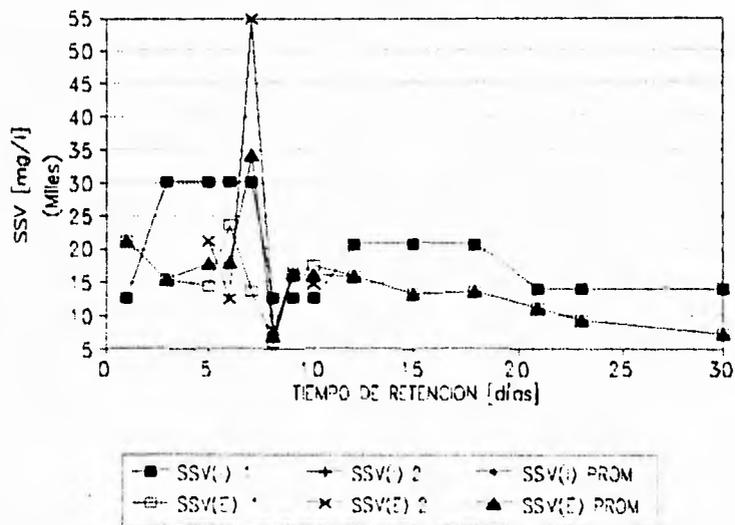


TABLA B.3.5.3. SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS DEL LODO PRETRATADO

TR [días]	SSF [mg/l]			SSF [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	10393		10393	20928		20928
3	19250		19250	17537		17537
5	19250	19250	19250	19444	18387	18916
6	19250	19250	19250	20857	15452	18155
7	19250	19250	19250	13664	13753	13708
8	10393	10393	10393	6000	8429	7215
9	10393	10393	10393	15576	15333	15455
10	10393	10393	10393	4333	9100	6717
12	17989		17989	19114		19114
15	17989		17989	15200		15200
18	17989		17989	14682		14682
21	12200		12200	7406		7406
23	12200		12200	6667		6666
30	12200		12200	8262		8262

TABLA B.3.5.4. SOLIDOS TOTALES DEL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

TR [días]	ST [mg/l]			ST [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	22030		22030	28725		28725
3	35650		35650	31383		31383
5	35650	35650	35650	29635	26910	28272
6	35650	35650	35650	25710	27390	26550
7	35650	35650	35650	25840	28984	27412
8	22030	22030	22030	20125	19530	19828
9	22030	22030	22030	29644	32202	30923
10	22030	22030	22030	24419	24494	24457
12	38740		38740	29331		29331
15	38740		38740	25957		25957
18	38740		38740	30395		30395
21	32392		32392	24870		24870
23	32392		32392	25950		25950
30	32392		32392	22608		22608

FIG.B.3.5.3. COMPORTAMIENTO DE SSF PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

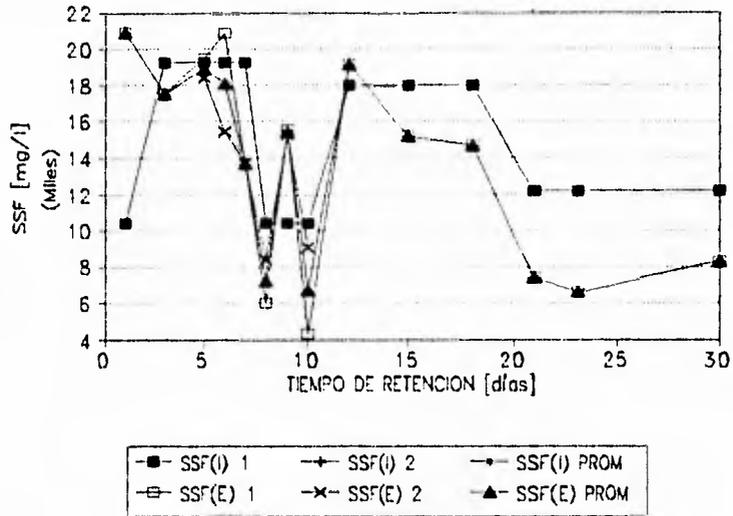


FIG.B.3.5.4. COMPORTAMIENTO DE ST PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDOS

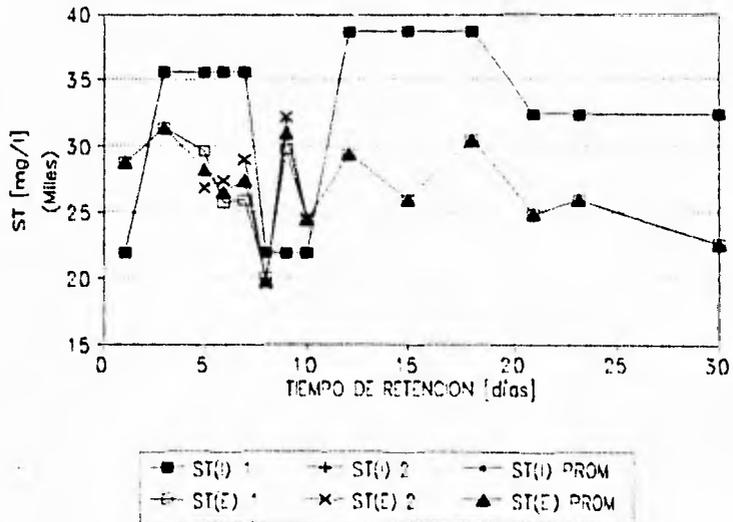


TABLA B.3.5.5. SOLIDOS TOTALES VOLATILES DEL LODO PRETRATADO

TR [días]	STV [mg/l]			STV [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	11948		11948	15043		15043
3	19117		19117	15813		15813
5	19117	19117	19117	16160	13343	14752
6	19117	19117	19117	13375	15450	14413
7	19117	19117	19117	13440	15435	14438
8	11948	11948	11948	11390	10560	10975
9	11948	11948	11948	15731	15669	15700
10	11948	11948	11948	13779	12948	13364
12	22405		22405	15783		15783
15	22405		22405	13383		13382
18	22405		22405	17712		17712
21	17194		17194	13011		13011
23	17194		17194	12770		12770
30	17194		17194	11749		11749

TABLA B.3.5.6. SOLIDOS TOTALES FIJOS DEL LODO PRETRATADO

TR [días]	STF [mg/l]			STF [mg/l]		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	10082		10082	13683		13682
3	16533		16533	15570		15570
5	16533	16533	16533	13475	13567	13521
6	16533	16533	16533	12335	11940	12138
7	16533	16533	16533	12400	13550	12975
8	10082	10082	10082	8735	8970	8853
9	10082	10082	10082	13913	16533	15223
10	10082	10082	10082	10640	11546	11093
12	16335		16335	13548		13548
15	16335		16335	12575		12575
18	16335		16335	12683		12683
21	15198		15198	11860		11859
23	15198		15198	13180		13180
30	15198		15198	10859		10859

FIG.B.3.5.5. COMPORTAMIENTO DE STV PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

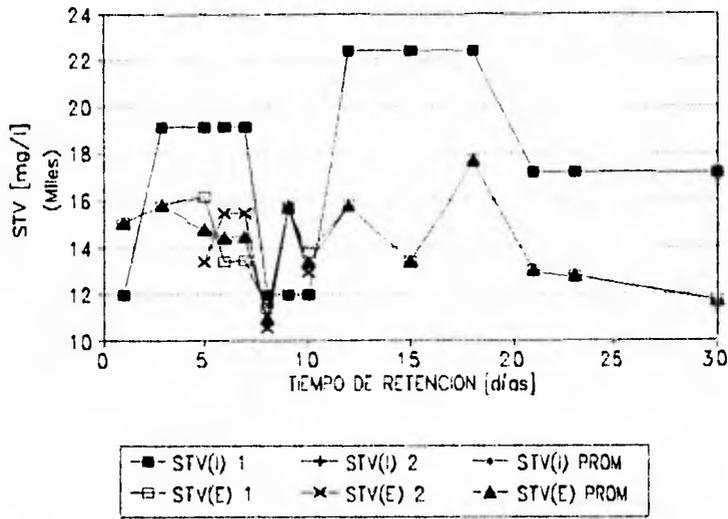


FIG.B.3.5.6. COMPORTAMIENTO DE STF PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

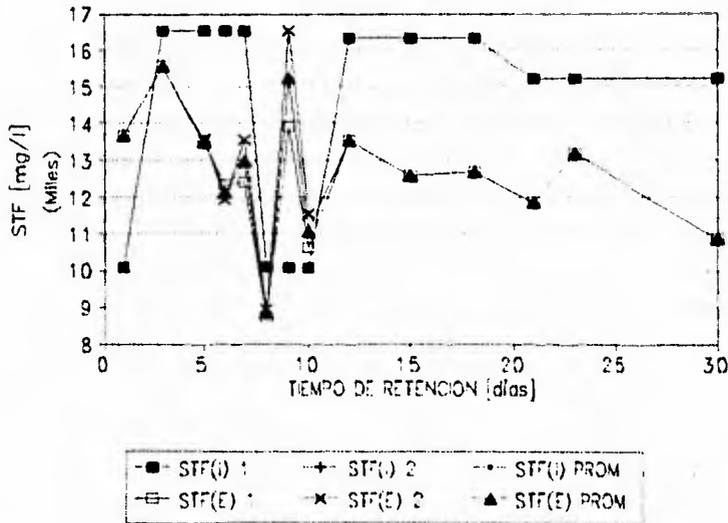


TABLA B.3.5.7. SOLIDOS DEL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

TR [días]	% SOLIDOS			% SOLIDOS		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	2.34		2.34	2.99		2.99
3	3.71		3.71	3.26		3.26
5	3.71	3.71	3.71	3.03	2.86	2.95
6	3.71	3.71	3.71	2.61	2.82	2.72
7	3.71	3.71	3.71	2.77	3.03	2.90
8	2.34	2.34	2.34	2.18	2.08	2.13
9	2.34	2.34	2.34	3.11	3.36	3.24
10	2.34	2.34	2.34	2.55	2.63	2.59
12	3.85		3.85	3.04		3.04
15	3.85		3.85	2.71		2.71
18	3.85		3.85	3.24		3.24
21	3.36		3.36	2.55		2.55
23	3.36		3.36	2.68		2.68
30	3.36		3.36	2.30		2.30

TABLA B.3.5.8. HUMEDAD DEL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

TR [días]	% AGUA			% AGUA		
	1	2	PROM	1	2	PROM
1	97.66		97.66	97.01		97.01
3	96.29		96.29	96.74		96.74
5	96.29	96.29	96.29	96.97	97.14	97.06
6	96.29	96.29	96.29	97.39	97.18	97.29
7	96.29	96.29	96.29	97.23	96.97	97.10
8	97.66	97.66	97.66	97.82	97.92	97.87
9	97.66	97.66	97.66	96.89	96.64	96.77
10	97.66	97.66	97.66	97.45	97.37	97.41
12	96.15		96.15	96.96		96.96
15	96.15		96.15	97.29		97.29
18	96.15		96.15	96.76		96.76
21	96.64		96.64	97.45		97.45
23	96.64		96.64	97.32		97.32
30	96.64		96.64	97.70		97.70

FIG.B.3.5.7. COMPORTAMIENTO DE % SOL PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

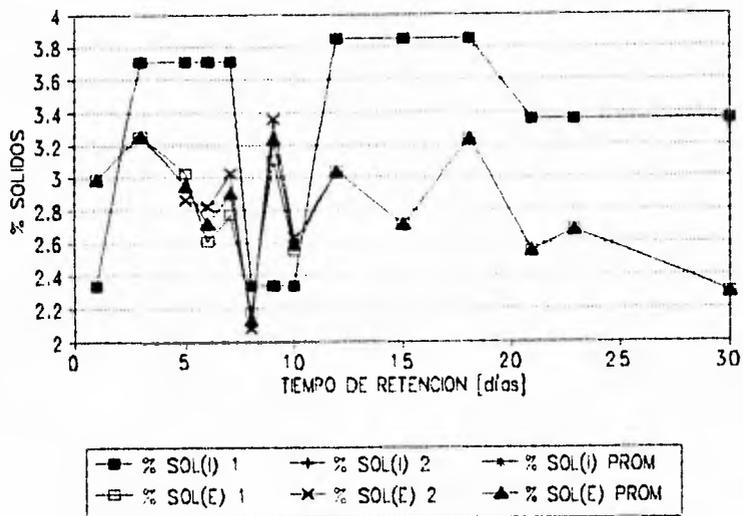


FIG.B.3.5.8. COMPORTAMIENTO DE % AGUA PARA EL LODO PARCIALMENTE DIGERIDO

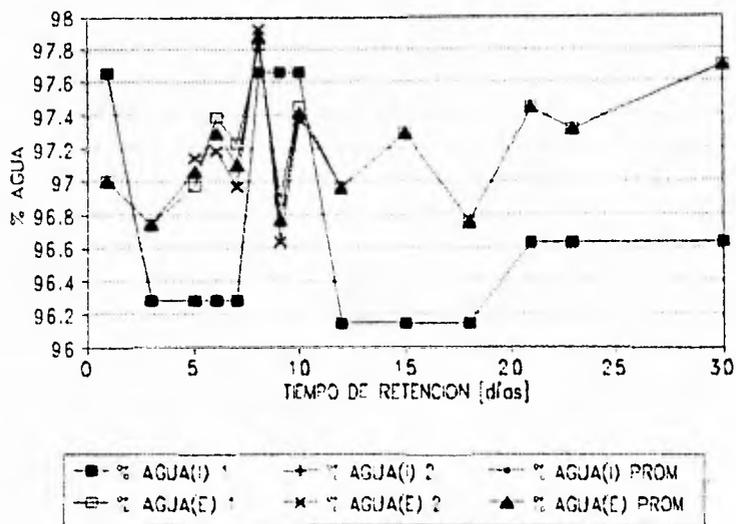


Tabla B.4. Determinación de concentración de METANO en las CFPAS
después de la inoculación

FECHA	M. oryzae	M. barzeri	M. formicium	M. hungatei	M. variabile
EN VOLUMEN DE 5 m³ MEDIO DE BALCH					
28-Jun-94	12.52	13.51	n.d.	18.60	4.22
28-Jun-94	12.25	13.43	n.d.	0.66	10.10
EN VOLUMEN DE 20 m³ MEDIO DE BALCH					
			VOL. 5 m		
21-Ago-94	n.d.	1.14	n.d.	5.51	n.d.
21-Ago-94	n.d.	0.30	n.d.	4.21	n.d.
25-Sep-94	n.d.	12.57	n.d.	5.71	n.d.
25-Sep-94	n.d.	1.73	n.d.	7.70	n.d.
EN MEDIO DE BALCH					
	VOL. 20 m	VOL. 150 m		VOL. 150 m	VOL. 20 m
06-Oct-94	n.d.	16.76		5.42	n.d.
06-Oct-94	n.d.	15.37		5.57	n.d.
14-Oct-94	n.d.	0.20		0.06	n.d.
14-Oct-94	n.d.	0.24		n.d.	n.d.
25-Oct-94	n.d.	0.70		1.75	n.d.
25-Oct-94	n.d.	0.22		3.14	n.d.
07-Nov-94	n.d.	3.43		4.43	n.d.
07-Nov-94	n.d.	3.50		5.69	n.d.
22-Nov-94	n.d.	17.73		4.50	n.d.
22-Nov-94	n.d.	17.72		4.32	n.d.
06-Dic-94	n.d.			4.26	n.d.
06-Dic-94	n.d.			5.22	n.d.
EN VOLUMEN DE 5 m³ MEDIO 119					
27-Ene-95	3.62		n.d.	n.d.	n.d.
27-Ene-95	n.d.		0.49	n.d.	n.d.
27-Ene-95	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.
01-Feb-95	5.22		0.04	0.08	n.d.
01-Feb-95	0.06		0.09	0.03	0.01
01-Feb-95	3.13		9.62	n.d.	n.d.
15-Feb-95	15.23		n.d.	n.d.	0.03
15-Feb-95	0.04		0.37	0.04	1.59
15-Feb-95	2.33		17.06	n.d.	n.d.
22-Feb-95	11.12		n.d.	n.d.	n.d.
22-Feb-95	1.64		0.57	n.d.	1.12
22-Feb-95	2.23		11.90	n.d.	n.d.
08-Mar-95	14.32		n.d.	n.d.	n.d.
08-Mar-95	0.04		10.78	1.75	n.d.
08-Mar-95	2.44		13.51	n.d.	0.06
EN MEDIO DE BALCH					
		VOL. 20 m		VOL. 150 m	MEDIO MODIFICADO
08-Mar-95		0.10		5.47	n.d.
08-Mar-95		0.10		6.09	n.d.
06-Abr-95	0.01			2.47	0.02
06-Abr-95	0.02			0.73	0.03
10-Abr-95	0.04			2.54	n.d.
10-Abr-95	0.00			1.02	n.d.
18-Abr-95	0.00			3.37	n.d.
18-Abr-95	0.03			1.80	n.d.
04-May-95	0.01			9.82	0.01
04-May-95	0.01			6.60	n.d.

Anexo C

Cálculo para obtener la alcalinidad por bicarbonatos.

El cálculo para obtener la *alcalinidad de bicarbonatos* se efectuó de la siguiente manera:
(McCarty, 1964)

$$[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{Alcalinidad Total}] - 0.8 [\text{AGV's}]$$

El intervalo óptimo de *alcalinidad por bicarbonatos* se encuentra entre los valores de 1 000 y 5 000 mg/l, lo que significa que los valores adentro del intervalo, se encuentran en el pH óptimo (7.2 - 7.6) y que el porcentaje de *metano* y dióxido de carbono en el biogás están entre el 60 - 75 % y 40 - 25 % respectivamente.

Anexo D

Determinación del potencial bioquímico de metano.

El *potencial bioquímico de metano* por definición es el volumen (m^3) de *metano* producido por kilogramo de *demanda química de oxígeno removido*. Usando los valores de los parámetros determinados, en las unidades adecuadas, se tiene lo siguiente:

$$PBM = \frac{\text{Vol. } CH_4}{\text{Masa } DQO_{rem}} = \frac{m^3 CH_4}{Kg DQO_{rem}}$$

El experimento se realizó bajo condiciones de trabajo o de operación (PBM_{op}) las cuales fueron a una temperatura de $35^\circ C$ y a la presión de la ciudad de México (585 mmHg). Por lo que si se considera el *metano* como gas ideal y bajo condiciones de referencia se tiene lo siguiente:

$$pV = nRT$$

$$\frac{n}{V_{ref}} \times \frac{T_{ref}}{P_{ref}} = \frac{1}{R}$$

y se sabe que:

$$C_{ref} = \frac{n}{V_{ref}}$$

entonces la tercera relación queda de la siguiente manera:

$$C_{ref} \times \frac{T_{ref}}{P_{ref}} = \frac{1}{R}$$

Efectuando el mismo procedimiento para la relación a condiciones de operación se observa que es posible igualar las ecuaciones obteniendo lo siguiente:

$$C_{ref} \times \frac{T_{ref}}{P_{ref}} = C_{op} \times \frac{T_{op}}{P_{op}}$$

volviendo a la definición de *PBM* y teniendo las funciones inversas de la relación anterior se encuentra que:

$$\frac{V_{ref}}{n} = \frac{V_{op}}{n} \times \frac{T_{ref}}{T_{op}} \times \frac{P_{op}}{P_{ref}}$$

es decir:

$$PBM_{ref} = PBM_{op} \times \frac{T_{ref}}{T_{op}} \times \frac{P_{op}}{P_{ref}}$$

Este número ya es comparable con el valor teórico que encontró McCarty (1966). Para el caso de *PBM* respecto a los *sólidos volátiles* se efectuaron las mismas operaciones, pero la única diferencia fue que se manejó la masa (Kg) de SSV_{rem} en lugar de la masa (Kg) de DQO_{rem} .

1

2

3

4

5