

2ej.  
147



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN EL  
PROCESO DE BIODIGESTION ANAEROBICA DE  
TRES EXCREMENTOS DIFERENTES Y DOS  
COMBINACIONES, PARA LA OBTENCION  
DE BIOABONO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I O L O G O  
P R E S E N T A :  
ILIANA OSORIO MORENO

México, D. F.,

1986



## **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 está 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.

## CONTENIDO

|                                                                                                                   | pags. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| PRESUMEN .....                                                                                                    | 1     |
| I. INTRODUCCION .....                                                                                             | 1     |
| II. GENERALIDADES Y DEFINICIONES .....                                                                            | 5     |
| 2.1 Biodigestor .....                                                                                             | 5     |
| 2.2 Microbiología del proceso .....                                                                               | 6     |
| 2.3 Tipos de digestores .....                                                                                     | 8     |
| 2.4 Factores fisicoquímicos y operacionales<br>de los digestores .....                                            | 12    |
| 2.4.1 Temperatura .....                                                                                           | 12    |
| 2.4.2 Potencial de hidrógeno .....                                                                                | 13    |
| 2.4.3 Carga de alimentación .....                                                                                 | 13    |
| 2.4.4 Agitación .....                                                                                             | 14    |
| 2.4.5 Porcentaje de sólidos .....                                                                                 | 14    |
| 2.4.6 Tiempo de retención .....                                                                                   | 15    |
| 2.4.7 Características de composición de los<br>desechos que se deben usar para la di-<br>gestión anaeróbica ..... | 16    |
| 2.4.8 Diseño del digestor .....                                                                                   | 17    |
| 2.5 Ventajas del uso de digestores .....                                                                          | 18    |
| III. ANTECEDENTES .....                                                                                           | 20    |
| IV. MATERIALES Y METODO .....                                                                                     | 24    |
| 4.1 Montaje del experimento .....                                                                                 | 24    |
| 4.2 Colecta de las muestras .....                                                                                 | 26    |
| 4.3 Trabajo de laboratorio .....                                                                                  | 26    |
| 4.4 Consecución del experimento .....                                                                             | 27    |
| 4.5 Análisis estadístico .....                                                                                    | 27    |
| V. RESULTADOS .....                                                                                               | 29    |
| 5.1 Temperatura del medio y de los biodiges-<br>tores .....                                                       | 29    |
| 5.2 Conductividad .....                                                                                           | 29    |
| 5.3 Potencial de hidrógeno .....                                                                                  | 32    |
| 5.4 Nitritos .....                                                                                                | 34    |
| 5.5 Amonio .....                                                                                                  | 34    |

|                                                         | pags |
|---------------------------------------------------------|------|
| 5.6 Fósforo .....                                       | 37   |
| 5.7 CO <sub>2</sub> metabolizable .....                 | 37   |
| 5.8 Proporciones de nutrimentos .....                   | 39   |
| 5.8.1 Proporción de C/N .....                           | 41   |
| 5.8.2 Proporción de N/P .....                           | 41   |
| VI. DISCUSION GENERAL .....                             | 46   |
| 6.1 Parámetros fisicoquímicos .....                     | 46   |
| 6.1.1 Temperatura del medio y los diges-<br>tores ..... | 46   |
| 6.1.2 Conductividad .....                               | 46   |
| 6.1.3 Potencial de hidrógeno .....                      | 47   |
| 6.2 Nutrimentos .....                                   | 49   |
| 6.3 Relación de nutrimentos .....                       | 54   |
| 6.4 Producción de nutrimentos .....                     | 59   |
| 6.5 Análisis estadístico .....                          | 73   |
| VII. CONCLUSIONES .....                                 | 74   |
| VIII. LITERATURA CITADA .....                           | 77   |

## INDICE DE FIGURAS

|         |                                                                                                    |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1  | Modelo integral del digestor anaerobio en el sistema productivo .....                              | 4  |
| Fig. 2  | Estratos de los productos del digestor .....                                                       | 7  |
| Fig. 3  | Pasos principales de los procesos metabólicos involucrados en la digestión anaeróbica ....         | 9  |
| Fig. 4  | Tipos de digestores .....                                                                          | 11 |
| Fig. 5  | Temperatura ambiente e interna de los digestores en los experimentos criofílico y mesofílico ..... | 30 |
| Fig. 6  | Evolución de la Conductividad durante los experimentos criofílico y mesofílico .....               | 31 |
| Fig. 7  | Evolución del potencial de hidrógeno durante el experimento criofílico y mesofílico .....          | 33 |
| Fig. 8  | Evolución de nitritos en los experimentos criofílico y mesofílico .....                            | 35 |
| Fig. 9  | Evolución del Amonio total durante los experimentos criofílico y mesofílico .....                  | 36 |
| Fig. 10 | Desarrollo de los Ortofosfatos durante los experimentos criofílico y mesofílico .....              | 38 |
| Fig. 11 | Desarrollo del CO <sub>2</sub> metabolizable en los experimentos criofílico y mesofílico .....     | 40 |

## INDICE DE TABLAS

|          |                                                                                                                                                   |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. | Composición química del biogas .....                                                                                                              | 5  |
| Tabla 2  | Composición química del estiércol procesado mediante diferentes tratamientos ....                                                                 | 19 |
| Tabla 3  | Proporciones de C/N y N/P en los diferentes tratamientos durante las etapas Inicial, Media y Final de los dos experimentos .....                  | 43 |
| Tabla 4  | Datos físicoquímicos y nutrimentos registrados en los digestores durante el proceso de digestión de ambos experimentos .....                      | 44 |
| Tabla 5  | Resultados del análisis de varianza .....                                                                                                         | 45 |
| Tabla 6  | Promedios de las fases líquida y sólida de los contenidos de los digestores al final de la digestión .....                                        | 60 |
| Tabla 7  | Cuadro comparativo de la producción de nutrimentos máximos de cada tratamiento evaluado por litro y por volumen total de bioabono líquido .....   | 62 |
| Tabla 8  | Cuadro comparativo de las cantidades de nutrimentos reportados por diferentes autores con respecto a las encontradas en el presente trabajo ..... | 66 |
| Tabla 9  | Cuadro comparativo del volumen requerido de bioabono para compensar los requerimientos de fósforo .....                                           | 68 |
| Tabla 10 | Promedios de la cantidad de nutrimentos producidos por unidad de peso lixiviado ....                                                              | 71 |
| Tabla 11 | Cantidades de nutrimentos máximos obtenidos por unidad de peso de material usado (1500 g) expresado en mg/g .....                                 | 72 |

## RESUMEN

En la actualidad el uso de los desechos agropecuarios, ha comenzado a tener impulso dentro de la acuicultura.

El reciclamiento de los desechos se ha realizado de muy diversas maneras, haciendo posible su aprovechamiento total.

Debido al potencial que guardan estos recursos, el presente trabajo tuvo como finalidad realizar una evaluación del proceso de digestión anaeróbica de diferentes excrementos, - cerdaza, gallinaza, borregaza y dos combinaciones, con el objeto de definir de cual se obtiene el bioabono de mejor calidad fertilizante.

Para esto fueron llevados a cabo dos experimentos a diferentes regímenes de temperaturas, criofílica (17°C) y mesofílica (26°C), durante los cuales se realizó el monitoreo de los factores de temperatura, pH y conductividad, así como la determinación de nutrimentos a través de los contenidos de - nitritos, amonio, ortofosfatos y CO<sub>2</sub> metabolizable.

De los excrementos manejados la de gallina sobresalió - por sus altos contenidos de nitrógeno (1357.7 mg/l) a tiempos de retención de 13 días.

Con esto se vió que la temperatura fué un factor determinante en el proceso de digestión anaeróbica y que de las - excretas manejadas, la de cerdo resultó ser la más adecuada para la obtención de bioabono. Se recomienda la utilización de 52.8 a 79.2 g de estiercol seco por litro de sustrato, para fermentarse en digestores discontinuos bajo temperaturas mesófilas, obteniendose un promedio de 0.016 a 0.024 g de - fósforo por litro y 0.43 a 0.65 g de nitrógeno por litro, en un tiempo de 13 días, óptimos para una buena fertilización de estanques.

La combinación de excretas no ofreció beneficio en mayores rendimientos del bioabono. Los elevados contenidos de amonio disminuyeron la proporción de C/N, sobretodo en los últimos días del proceso, situación que también apoyó la calidad del fertilizante.

## INTRODUCCION

En los últimos años la humanidad, en especial los países del tercer mundo se han enfrentado a tres problemas básicos - que son: la crisis energética, la escasez de alimentos tanto de origen animal como vegetal y la contaminación ambiental - (Maldonado, 1980).

En lo que se refiere a la producción de alimentos, las investigaciones han sido encaminadas al uso de todo tipo de recursos naturales, incluyendo desperdicios de actividades agropecuarias como excretas y restos vegetales.

La acuicultura representa una alternativa muy particular que permite aprovechar este tipo de recursos, ya sea utilizandolos como fertilizantes o como alimentos para incrementar la producción de estanques piscícolas, ofreciendo así solución, tanto al problema alimenticio como el de contaminación (Woaynarovich y Kühnhold, 1979; Porras, 1981).

La fertilización de las aguas de los estanques tiene como finalidad la de proveer nutrimentos fundamentales para la producción vegetal básica, la cual es generalmente lograda - con el empleo de abonos inorgánicos y orgánicos. Dentro de estos últimos se incluyen a todos aquellos materiales como excretas, orinas y desechos vegetales, que reúnen una serie de cualidades de alto valor, debido al contenido de proteínas, aminoácidos y nutrientes, que al ser procesados ofrecen aquellos elementos que sirven de enlace durante las cadenas alimentarias (Porras, 1981 y Ramos, 1977).

La adición de estiércol a los estanques promueve el florecimiento del fitoplancton que a su vez es consumido por el zooplancton, que sirve directamente de alimento a los peces;

sin embargo, una condición crítica en el uso de los excrementos, es en la concentración de oxígeno, que al ser consumido éste por la descomposición de la materia orgánica, así como la liberación de grandes cantidades de bióxido de carbono, - que de manera general pueden poner en peligro la vida de los peces (Woaynarovich y Kühnhold, 1979; Ramos, 1977).

Para evitar dicho riesgo y optimizar el aprovechamiento de los desechos orgánicos, se ha recomendado la integración de los digestores al sistema agrícola y/o acuícola con el objeto de degradarlos y obtener así un fertilizante estable que no provoque efectos de anaerobiosis en el agua, simplificando el proceso de asimilación de los nutrientes por parte del fitoplancton (Anónimo, 1983; Woaynarovich y Kühnhold, 1979); además de la producción de gas para la población rural como se ilustra en la figura 1 (Fry, 1974 y Porras, 1981).

Es por esta razón que los estudios encaminados al mayor conocimiento y aplicación de los digestores para la obtención de fertilizantes, cobran mayor importancia.

Con base en lo anterior, el objetivo general de este estudio, fué definir cual de los excrementos cerdaza, gallinaza, borregaza y sus combinaciones, reúne las características más apropiadas para ser utilizado como fertilizante en sistemas de policultivo. Para esto se realizó un diseño experimental, sujeto a condiciones de temperatura controlada, en una cámara del invernadero del Instituto de Biología. Dicho estudio forma parte del proyecto general de policultivo en México, que se realiza actualmente en los laboratorios de Piscicultura y Limnología y en el de Química y Productividad Acuáticas, ambos pertenecientes al mismo Instituto.

Como parte adicional se plantearon los siguientes objetivos particulares:

1) Estimar la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos (potencial de hidrógeno y conductividad) y la secuencia del proceso de digestión, a través de los análisis de amonio, nitritos, ortofosfatos y  $\text{CO}_2$  metabolizable.

2) Determinar y comparar la influencia que ejercen dos intervalos de temperatura (17 y  $26^\circ\text{C}$ ), sobre la velocidad de digestión.

3) Estimar el rendimiento de cada excremento a través de la proporción de materia orgánica y cantidad de nutrimentos liberada de cada excremento.

4) Establecer si las condiciones experimentales de temperatura y la distinta naturaleza de los excrementos, traen consigo diferencias significativas en la proporción de los productos finales.

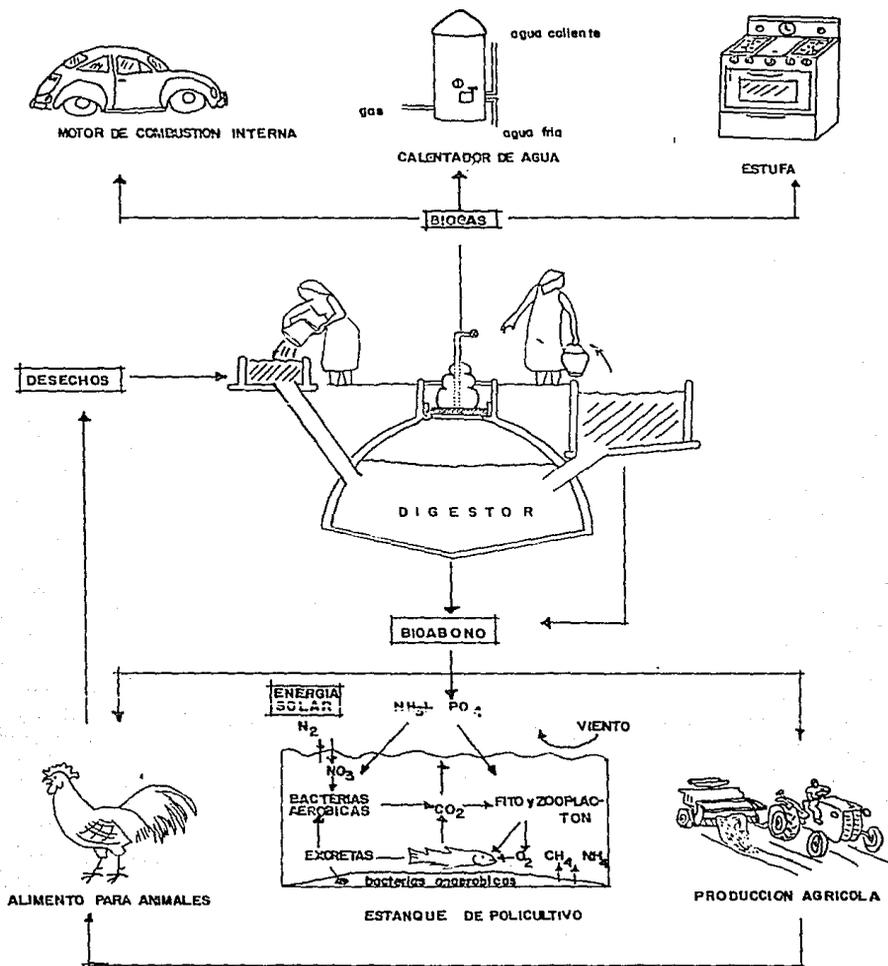


FIG. 1.- MODELO INTEGRAL. DEL DIGESTOR ANAEROBIO EN EL SISTEMA PRODUCTIVO.

## II. GENERALIDADES Y DEFINICIONES

Para tener una idea más clara de los conceptos que se manejan en este trabajo, se presentan a continuación algunas generalidades.

### 2.1. Biodigestor.

Un digestor anaeróbico consiste básicamente de un tanque o pozo herméticamente cerrado en ausencia de oxígeno molecular, donde se lleva a cabo el proceso de digestión, en la que intervienen un grupo de bacterias metanogénicas que degradan la materia orgánica, produciendo al final una mezcla de gases compuesta principalmente de metano, anhídrido carbónico y otros, y como residuo materia orgánica digerida y nutrimentos tales como compuestos de nitrógeno y fósforo, excelentes como fertilizantes, el cual es denominado bioabono (Baquedano, et al., 1979; Taiganides, 1977; Rolz, et al., 1984; Tabla 1).

TABLA. 1. Composición química del biogas (Baquedano, et al., 1979).

| GAS                 | FORMULA QUIMICA  | %   |
|---------------------|------------------|-----|
| Metano              | CH <sub>4</sub>  | 70  |
| Anhídrido carbónico | CO <sub>2</sub>  | 27  |
| Nitrógeno           | N <sub>2</sub>   | 0.5 |
| Hidrógeno           | H <sub>2</sub>   | 1.0 |
| Monóxido de carbono | CO               | 0.1 |
| Oxígeno             | O <sub>2</sub>   | 0.1 |
| Acido Sulfhídrico   | H <sub>2</sub> S | 0.1 |

Fry (1974), menciona que conforme se lleva a cabo la digestión, se va estratificando el contenido en cinco diferentes capas. La inferior está constituida principalmente por -- arena y materiales inorgánicos; la segunda capa o lodo, representada por los sólidos digeridos del estiércol original, reducida alrededor de un 40% del volumen inicial, y que húmeda o seca, funciona como un excelente fertilizante para estanques de cultivo y sembradíos; la tercera capa o sobrenadante, está representada por un líquido digerido que es igualmente útil como fertilizante, especialmente para estanques de cultivo. Ambas fases están constituidas principalmente por compuestos orgánicos (proteínas, lípidos y carbohidratos) e inorgánicos, que les confiere un alto poder fertilizante. El cuarto nivel o nata, está compuesta por material fibroso sobrenadante del material bruto. La acumulación de esta nata o espuma, puede actuar como aislante, aunque en mayores cantidades puede detener la digestión. Finalmente, en la parte superior del mismo digestor, se localiza el gas producido por el proceso (Fig. 2).

## 2.2 Microbiología del proceso.

Durante el proceso de digestión anaeróbica que se lleva a cabo dentro de un digestor, las grandes moléculas orgánicas como sacáridos, ligninas, proteínas y lípidos, son desdoblados a moléculas más pequeñas, incluyendo productos caseosos finales como metano y bióxido de carbono. Cada población de bacterias cataliza solo un cierto número de estas reacciones (Hawkes, et al., 1978).

De manera muy general este proceso es dividido en dos grandes etapas, cada una de éstas catalizada por la participación de un grupo de bacterias denominadas: Acetogénicas y Metanogénicas (Rolz, et al., 1984). Las primeras hidrolizan y fermentan los compuestos orgánicos complejos a ácidos or-

Fases :

Usos :

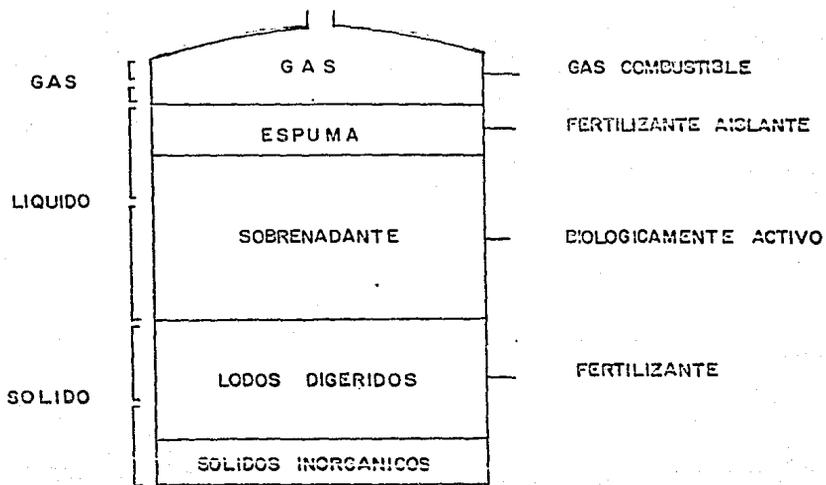


FIG. 2 — Estratos de los productos de un digestor. ( Fry. , 1974. )

gánicos simples como el ácido acético y propiónico. Este grupo está constituido generalmente por bacterias anaeróbicas - facultativas que colectivamente son identificadas en la literatura como "formadoras de ácidos". Dichas bacterias son resistentes a cambios bruscos de temperaturas (Fry, 1974) y como ejemplo están: Clostridium spp., Peptococcus anaerobus, - Bifidobacterium spp., Desulphovibrio spp., Corynebacterium sp., Lactobacillus, Actinomyces, Staphylococcus y Escherichia coli. El segundo grupo de bacterias denominadas metanoqénicas, convierten los ácidos orgánicos formados por el primero a metano y bióxido de carbono. Estas bacterias son estrictamente anaeróbicas y muy sensibles a cambios bruscos de temperatura (Fry, 1974), siendo generalmente identificadas en la literatura como "formadoras de metano". Muchos de los organismos metanoqénicos identificados en digestores anaeróbicos, son similares a los encontrados en estómagos de rumiantes y en sedimentos de ríos o lagos. Entre los principales organismos se incluyen: Methanobacterium, Methanobacillus, Methanococcus, y Methanosarcina (Metcalf y Eddy, 1979; Horton, et al., 1976; Rolz, et al., 1984). En la figura 3, se esquematiza de forma muy general el proceso microbiológico que se lleva a cabo en un digestor anaeróbico, según González y Marmolejo (1984).

### 2.3. Tipos de digestores.

Existe una gran variedad de digestores que son usados para descomponer la materia orgánica y obtener energía. Estos han sido clasificados de muy diversas maneras por diferentes autores, considerando algunos aspectos como la aplicación que se les da, su forma de operación, tipo de degradación, forma de suministro, diseño, etc.

La forma más general de clasificación, está dada por el tipo de proceso y forma de suministro a los digestores. Estos se dividen en dos grupos generales:



1) Digestores de carga única, los cuales son llenados - una sola vez y vaciados en su totalidad cuando el material - ha terminado de digerirse y producir gas; y

2) Los digestores de carga continua, los cuales son ali-mentados regularmente, de tal manera que el gas y fertilizante son producidos continuamente (Rolz, et al., 1984).

Baquedano, et al., (1979), agrega a esta clasificación la forma y diseño, los cuales pueden ser verticales y hori--zontales, lo que en combinación con la clasificación anterior da cuatro variedades de digestores (Fig. 4):

VERTICAL: CONTINUO  
DISCONTINUO  
HORIZONTAL: CONTINUO  
DISCONTINUO

Esta clasificación (Fig. 4), puede considerarse como la que engloba a la mayoría. Hay otros que consideran el réqui--men de temperatura para su funcionamiento, lo cual da una - nueva división según el tipo de digestión que se lleve a cabo (Rolz, et al., 1984):

- a) DIGESTION CRIOFILICA (10 - 20°C)
- b) DIGESTION MESOFILICA (20 - 30°C)
- c) DIGESTION TERMOFILICA (50 - 60°C)

(Sasse, 1984)

Como un ejemplo más está la clasificación de Mandujano (1980), que en parte se asemeja a las clasificaciones antes mencionadas, con algunas variaciones en cuanto a diseño y o--peración, éstas son:

- a) DIGESTORES DE LOTE (vertical discontinuo)
- b) DIGESTORES DE REGIMEN SEMICONTINUO (vertical cont.)

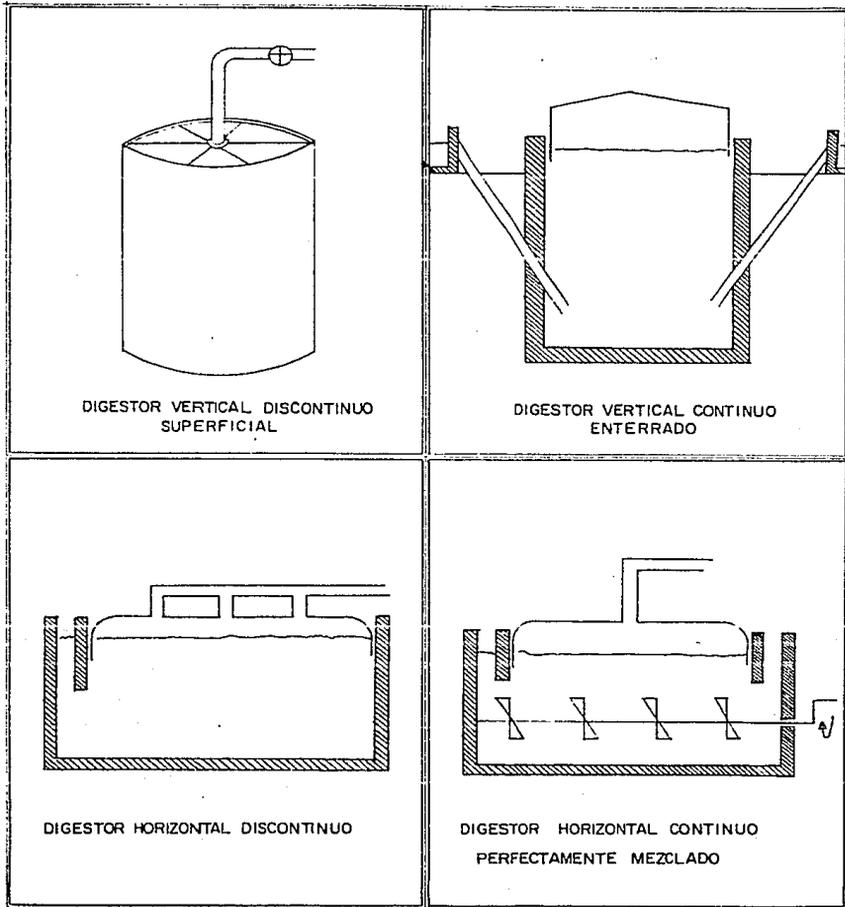


FIG. 4.- Tipos de digestores (MANDUJANO, 1980, SASSE, 1984).

- c) DIGESTORES HORIZONTALES DE DESPLAZAMIENTO (horizontal continuo)
- d) DIGESTORES DE REGIMEN CONTINUO (vertical continuo).

Algunos de estos tipos de digestores son denominados con el nombre del país donde fueron diseñados y operados, según las necesidades de cada uno, tal es el caso de los digestores tipo chino e hindú, que son variantes de los digestores antes mencionados (Mandujano, 1980).

#### 2.4. Factores fisicoquímicos y operacionales de los digestores.

Cuando se pretende hacer uso de un digestor, deben tomarse en cuenta algunos factores que son determinantes en el buen funcionamiento del mismo. Tales son:

##### 2.4.1. Temperatura.

Es un factor determinante en el proceso y se lleva a cabo dentro de un amplio rango (10 a 60°C). Las temperaturas óptimas son las mesófilas (30 a 40°C) y las termófilas (45 a 60°C). Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas mesófilas y la digestión óptima es obtenida a los 35°C. La velocidad de digestión es mayor a temperaturas altas, sin embargo dentro de esta gama de temperaturas, las bacterias son sumamente sensibles a los cambios bruscos, lo que en consecuencia el proceso se modifica; una baja repentina de algunos grados, puede ocasionar una suspensión en la producción de metano sin afectar materialmente a las bacterias productoras de ácidos, logrando por consiguiente que la acumulación excesiva de ácidos ocasione la falla del digestor. (Mandujano, 1980; Kelly y Switzenbaum, 1984).

#### 2.4.2. Potencial de hidrógeno.

El pH óptimo para la adecuada digestión y amortiguación del lodo, se sitúa entre 7.0 y 8.0. El proceso es inhibido a menos de 6.5 y cesa a partir de 4.5. Si la capacidad de amortiguación se modifica, el pH disminuye y el digestor cesa de funcionar ocasionando el "agriamiento" del producto, esto es, que emite olores desagradables, la calidad del sobrenadante y sólidos es mala y no se produce metano. Si es superior a - 7.6, se tiene que evaluar la concentración de amoniaco (Taignanides, 1977).

Según Anónimo (1983), los cambios bruscos de pH pueden ser debidos a diferentes causas como:

- variaciones fuertes de temperatura
- carga de alimentación muy ácida
- presencia de tóxicos indeseables
- acumulación de espumas

#### 2.4.3. Carga de alimentación.

La carga de alimentación o velocidad de carga, es la cantidad de material biodegradable por unidad de volumen que se introduce en un digestor, especialmente en los continuos. Si la carga es baja, las bacterias pueden presentar una actividad metabólica y producción de gas baja. Por lo contrario, cargas altas de alimentación puede ocasionar una acumulación de ácidos volátiles, baja producción de gas y aumento en la proporción de CO<sub>2</sub> (Hawkes, et al., 1978; Kelly y Switzenbaum, 1984). Contrariamente, Lehman y Wellinger (1981) - no relacionan la carga de alimentación con la producción de gas.

#### 2.4.4. Agitación.

Para que el proceso resulte efectivo, el contenido del digestor tiene que mantenerse en suspensión, permitiendo así que los microorganismos estén en permanente contacto con la fuente energética. Se evita además la formación de espuma en la parte superior y la acumulación de lodo en el fondo, manteniendo a la vez concentraciones bajas de agentes inhibidores. En digestores cuyo contenido está perfecta y constantemente mezclado, se obtiene una digestión de alta velocidad, dando por resultado una mejor reducción de los materiales volátiles y mayor rendimiento en la producción de gas. Para -- que se logre una agitación satisfactoria, el digestor debe -- contar con los medios adecuados para efectuar el mezclado. -- Dicho objetivo es logrado, ya sea por medios mecánicos, como por ejemplo aspas (Rolz, et al., 1984), o por recirculación de gas; este último considerado por algunos, como el mejor (Hawkes, et al., 1978).

#### 2.4.5. Porcentaje de sólidos.

Los sólidos totales de un material de desecho, corresponden al peso del material en seco, considerando que llegue a retener hasta un 30% de humedad. Estos sólidos totales están constituidos principalmente por materiales orgánicos digeribles (sólidos volátiles) y residuos no-digeridos (sólidos fijos).

El porcentaje de sólidos que tenga el material agregado al digestor, constituye uno de los factores que deben considerarse para que la digestión anaeróbica se lleve a cabo de manera óptima (Aubart y Bully, 1984). Según Seasse (1984) y Mandujano (1979), coinciden en que los desechos con un contenido de 5 a 10% de sólidos, son adecuados para la operación.

de una planta de biogas, sin embargo, con una proporción de 15% o más, es posible lograr una digestión satisfactoria (Taiganides, 1977).

Hawkes, et al., (1978); Bousfield y Summers (1979) y Aubart y Bully (1984), observaron que conforme aumenta el porcentaje de sólidos, la producción de gas se incrementa. Para poder aumentar el porcentaje de sólidos, especialmente en materiales con bajo contenido de sólidos, se recomienda el empleo de otros materiales con alta concentración de sólidos, como excretas de conejo y aves de corral (Aubart y Bully, - 1984); sin embargo para este último, es aconsejable medir su uso, ya que por su alto contenido de materiales nitrogenados puede inhibir la producción de gas (Fry, 1974).

#### 2.4.6. Tiempo de retención.

Es el número de días que permanecen los materiales de desecho en el digestor antes de extraerlos como fluido sobrenadante o como lodo digerido. Las bacterias requieren un cierto tiempo para digerir la materia, que varía dependiendo de la temperatura, tipo de carga y cantidad de la misma. El tiempo mínimo de retención tiene que ser mayor que el de generación de bacterias metanógenas, ya que de lo contrario los microorganismos se eliminarían en las descargas con mayor rapidez que la que requieren para reproducirse (Taiganides, 1977). De acuerdo a Metcalf (1979), el tiempo de retención de sólidos para digestores discontinuos, es equivalente al tiempo que duran los desechos dentro del digestor hasta que termina la digestión y son vaciados. En digestores continuos de alta velocidad, con temperaturas de funcionamiento termófilo (de 50 a 60°C), es preferible emplear tiempos de retención de 8 a 12 días; con temperaturas criófilas (de 10 a 20°C), suelen emplearse tiempos de aproximadamente 30 días y con temperaturas mesófilas (25 a 45 °C), pueden usarse de 10 a 25 días,

siempre que se considere debidamente el tipo de desperdicio (Taiganides, 1977), ya que por ejemplo los excrementos porcinos que son ricos en sólidos volátiles fácilmente degradables, necesitan un tiempo de retención de 10 a 12 días, mientras que los excrementos bovinos, que son ricos en materias celulósicas y fibras difíciles de descomponer, necesitarán un tiempo de retención cercano a 20 días (Bousfield, et al., 1979). Además, el tiempo de retención está relacionado con el porcentaje de sólidos, ya que conforme aumenta el tiempo de retención, con un cierto rango de carga, aumenta la concentración final de sólidos totales (Hawkes, et al., 1978).

#### 2.4.7. Características de composición en los desechos que se deben usar para la digestión anaeróbica.

Los materiales orgánicos que se utilizan en los digestores se caracterizan por ser ricos en contenidos de grasas, carbohidratos y proteínas, que constituyen el principal recurso de nutrimentos de las bacterias. La cantidad presente de estos permite dar una estimación de la producción de metano que puede obtenerse. Buswell (1957); Chinoweth (1971); in vite: Lehman y Wellinger, (1981), reportan que las grasas y proteínas que muestran una alta degradación, de 76 y 36% respectivamente, ofrecen una alta producción de metano.

Las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio en el contenido del digestor, son importantes, si el residuo va a ser usado como fertilizante. Por otro lado la proporción de C/N que tengan los materiales, es muy importante ya que debe ser aproximadamente de 30-20:1, para cubrir las necesidades de las bacterias y obtener una digestión óptima. Algunos compuestos presentes en los materiales de desecho como sulfatos, sulfuros, nitratos, sustancias como el acetileno y ácidos grasos en general, constituyen inhibidores potenciales de la digestión anaeróbica, por lo que su existencia en

los desechos debe ser controlada (Rolz, et al., 1984; Hawkes, et al., 1978).

#### 2.4.8. Diseño del digestor.

Uno de los componentes de mayor importancia y costo en una planta de digestión es el tanque principal, por lo que la construcción de ésta parte del equipo, debe ser considerada con mucha atención (Horton, 1976).

En principio, el tanque debe ser completamente hermético, con el fin de evitar la entrada de aire, el cual interfiere con el proceso, además de la fuga de gas (Mandujano, 1980).

El tamaño del mismo influye directamente en la efectividad del aislamiento y el intercambio de calor necesario, por lo que el tipo de material que se utilice para la construcción del mismo, cobra una gran importancia, pues además de que deba ser económico debe de conferir una cierta durabilidad.

La forma del tanque del digestor afecta especialmente a aspectos de limpieza y la eficiencia en el método de mezclado. Este último factor no es considerado importante cuando se refiere a digestores de tipo vertical discontinuo y horizontales continuos, donde el mezclado no es esencial (Mandujano, 1979).

Además de considerar los requerimientos para construcción, el digestor debe reunir ciertas características en el diseño del mismo y que son:

- 1) Fácil mantenimiento
- 2) Contar con medios adecuados para efectuar la carga y

descarga de los materiales de desecho (para digestores continuos).

3) Disponer de un sistema para recolección de gas. (Manúdujan0, 1979).

## 2.5. Ventajas del uso de digestores.

El uso de los digestores trae consigo ciertas ventajas, las cuales son:

a) Producción de biogas, el cual puede ser utilizado directamente como combustible para iluminación, calefacción, etc. (Baquedano, et al., 1979).

b) Los efluentes fermentados son excelentes como material abonero, debido a la alta concentración de nutrientes que contienen hasta 2 ó 3 veces más que el mejor compuesto orgánico producido aeróbicamente (Tabla 2), pudiendo competir como fertilizante completo contra los fertilizantes químicos, ya que además no deterioran el suelo (Horton, et al., 1976; Baquedano, et al., 1979).

c) Cuando la fermentación es llevada a cabo a temperaturas termófilas, permite que el excremento pueda ser utilizado como complemento alimenticio para aves de corral, peces, etc. (Baquedano, et al., 1979).

d) Actúan como medio eficaz para restringir la diseminación de parásitos intestinales, pues según se ha comprobado, el proceso de digestión elimina quistes o huevecillos viables, además de destruir algunas bacterias patógenas para el hombre. Por otro lado el excremento tratado impide la proliferación de algunos insectos portadores de enfermedades; además cuando se trata de excrementos de animales alimentados con hierbas, con el proceso quedan destruídas las semi-

llas de malas hierbas. (Taiganides, 1977; Baquedano, et al., 1979 y Horton, et al., 1978).

e) Se disminuye la repulsividad de los excrementos frescos, debido a la estabilización de la materia orgánica biodegradable, esto además disminuye el potencial de contaminación de los excrementos (Aubart y Bully, 1984; Horton, et al., -- 1976; Taiganides, 1977).

TABLA. 2. Composición química del estiercol procesado mediante diferentes tratamientos (Mandujano, 1980).

| CLASE DE ABONO               | NITROGENO | FOSFORO |
|------------------------------|-----------|---------|
| Estiercol amontonado         | 0.50%     | 0.30%   |
| Compost sistema indore       | 1.25%     | 0.95%   |
| Otros sistemas compost       | 1.90%     | 0.80%   |
| Sistema biológico anaeróbico | 3.80%     | 2.00%   |

## III. ANTECEDENTES.

El proceso de digestión anaeróbica es un fenómeno común en la naturaleza y que se lleva a cabo durante la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Hawkes, et al., 1978; Fry, 1974; Taiganides, 1977). Sin embargo resulta ser uno de los fenómenos naturales menos estudiados y explotados hasta tiempos recientes. El descubrimiento de este fenómeno fué realizado por Shirley, en 1667, quien observó que en los pantanos y manglares inundados era emitido un gas combustible, el cual era responsable de los llamados fuegos fátuos (Mandujano, 1980; Taiganides, 1977). Volta fué la primera persona en reconocer la relación que existe entre el gas de los pantanos y la vegetación en descomposición en el fondo de los lagos. En 1808, Sir Humphrey Dawy al lograr coleccionar por primera vez el metano, producto de la digestión anaeróbica, dió los primeros pasos de lo que sería el principio de la investigación en este campo, siendo además la primera persona que ofreció un enfoque de la utilización de este proceso para lograr resolver problemas de tipo agrícola y no energéticos (Mandujano, 1980).

El desarrollo y aplicación de los digestores, ha estado encaminado principalmente para el tratamiento de aguas residuales y en segundo término, para la obtención de biogas. Dicha evolución ha estado plagada por una larga historia de fracasos que reflejan el alto grado de ignorancia del proceso. Actualmente se están realizando estudios teóricos sobre el diseño del mismo, basados en datos de operación de digestores de laboratorio, con el objeto de poder simular y estudiar el control del proceso para manejar su estabilidad y al mismo tiempo optimizar su operación (Rolz, et al., 1984).

La historia de los digestores anaeróbicos comienza en

el año de 1850 durante el cual es diseñado el primer tanque destinado a separar y retener sólidos. La primera unidad usada fué conocida con el nombre de "basurero automático de Mouras" desarrollado por Luis H. Mouras de Vesoul, Francia, Alrededor de 1860, en el que se observó que si los sólidos eran colocados en un pozo cerrado, se transformaban a estado líquido (Metcalf y Eddy, 1979). A partir de entonces el desarrollo y estudio de la digestión anaeróbica se acelera, con especial énfasis en la construcción de digestores anaeróbicos para plantas de tratamiento de aguas (Hawkes, et al., 1978).

La aplicación de los digestores a nivel doméstico, se ha pregonado en todos los niveles en países en vías de desarrollo con el objeto de utilizar el biogas producido como sustituto de la leña empleada para la preparación de alimentos en viviendas del área rural. Frecuentemente se ilustran los casos de la República Popular de China y la India como ejemplos en los cuales dicha aplicación atendido una gran difusión (Rolz, et al., 1984). Como casos particulares en el año de 1900, en la India se construyó el primer digestor agrícola en el que se utilizó el excremento de una colonia, con el fin de producir gas para cocinar e iluminación. En Francia, en la década de 1940, se reportó la construcción de 500 digestores productores de gas, situados en pequeños ranchos -- (Hawkes, et al., 1978). Posteriormente en 1967, en Suiza, -- fué construido el primer digestor agrícola de ese país, y no fué sino hasta la crisis energética de 1973 que la construcción de más digestores es impulsada (Lehman y Wellinger, -- 1981).

En cuanto a los trabajos realizados en México sobre digestores, en el Instituto de Investigaciones Eléctricas en Cuernavaca, Mor., se ha trabajado desde hace 5 años en los cuales se han implementado algunos digestores en zonas rurales los cuales se encuentran en funcionamiento actualmente. Dichos digestores fueron hechos con el objeto de producir --

biogas (Mandujano, 1980).

No obstante a pesar del reciente desarrollo de las investigaciones en este campo, son aún menores las referencias que existen sobre el destino o aplicación de los residuos producidos a partir de la digestión anaeróbica. El reciclaje de desechos orgánicos ha sido ampliamente demostrado en la República Popular de China, donde son utilizados los desechos y excretas para el cultivo de peces, para la fertilización continua de los estanques, que proporciona la principal fuente de alimentos para la mayoría de las especies (Juárez, 1982; Pórras, 1982 y Fry, 1974). Tanto en China como en Malasia, una de las alternativas para control y aprovechamiento del estiércol, es el uso de estanques de sedimentación o digestores, los cuales consisten en pozos excavados en el suelo sin desague, en donde es colectado el estiércol y puesto a fermentar. El líquido procedente de los reservorios es aplicado a los estanques de peces (Woaynarovich y Kühnhold, 1979). Por otro lado en la India, se han realizado varios estudios sobre digestores anaeróbicos, con el objeto de resolver problemas de energía y la obtención de fertilizantes de buena calidad. (Fry, 1974).

En el caso de México, en el año de 1981, bajo el auspicio del entonces Departamento de Pesca, fué puesta en funcionamiento la primera Granja Integral de Policultivo en Tezon-tepec de Aldama, Hgo., en cuyo lugar han sido realizados diversos trabajos referentes al modelo de cultivo chino, el cual se basa, entre otras cosas, en la fertilización de estanques con bioabonos obtenidos de digestores anaeróbicos, con el fin de incrementar así la producción piscícola (Arredondo y Juárez, 1985). Recientemente y a partir de estas experiencias, la Secretaría de Pesca ha editado un manual en el que se describe toda una metodología de Policultivo, tomando en consideración el empleo integrado de distintas modalidades de di-

gestores para la producción de bioabono (Martínez y Abrejo, 1984).

## IV. MATERIALES Y METODOS

El desarrollo de este trabajo se dividió en cinco etapas principales:

#### 4.1. Montaje del experimento.

Para la realización de los experimentos, se emplearon - 20 digestores que consistieron en cubetas de plástico de 20 litros de capacidad y con tapa hermética, las que fueron llenadas con excretas secas de cerdo, gallina y borrego (10 Kg aproximadamente de cada una), paja pulverizada (6 Kg aproximadamente) y agua.

Las excretas de borrego y cerdo fueron obtenidas de los establos de la Facultad de Veterinaria y Zootécnia de la Ciudad Universitaria, y la gallinaza de la Granja Avícola de -- Tulyehualco, ambas pertenecientes a la UNAM. Dichos excrementos fueron desecados al sol con el objeto de poder preparar los digestores con un porcentaje de sólidos del 7.5% (Mandujano, 1979).

La paja fué pulverizada en un molino de martillos antes de ser utilizada, ya que según Mandujano (1979), al molerse la paja, la digestión funciona mejor y la fuente de carbono es mejor aprovechada.

Los excrementos y la paja molida, fueron pesados por -- cuadruplicado y tomando en cuenta las siguientes cantidades de cada material, se colocaron en cada una de las unidades - experimentales:

| UNIDADES | CERD (g) | GALL (g) | BORR (g) | PAJA (g) | TOTAL |
|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| A        | 1200     | 0        | 0        | 300      | 1500  |
| B        | 0        | 1200     | 0        | 300      | 1500  |
| C        | 0        | 0        | 1200     | 300      | 1500  |
| D        | 600      | 600      | 0        | 300      | 1500  |
| E        | 0        | 600      | 600      | 300      | 1500  |

% de sólidos= 7.5

Posteriormente las cubetas fueron llenadas con agua hasta hacer un volumen aproximado de 20 litros, mezclando perfectamente el contenido.

Los digestores se colocaron en una cámara del invernadero del Instituto de Biología con la siguiente disposición aleatoria, según lo recomendado por Cochran (1970), para eliminar efectos de posición.

|                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| A <sub>4</sub> | E <sub>4</sub> | B <sub>1</sub> |
| D <sub>4</sub> | C <sub>1</sub> | A <sub>1</sub> |
| B <sub>2</sub> | E <sub>4</sub> | D <sub>3</sub> |
| C <sub>4</sub> | A <sub>3</sub> | B <sub>3</sub> |
| E <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> |
| C <sub>2</sub> | B <sub>4</sub> | A <sub>2</sub> |
| E <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> |                |

Se realizaron dos repeticiones, solo que a diferentes - temperaturas. El primer experimento fué realizado bajo un régimen de temperatura de 17°C promedio, y el segundo de 26°C, esto último logrado con el uso de un calentador eléctrico.

#### 4.2. Colecta de las muestras.

Para seguir de una manera más real los fenómenos de cambio que se fueron sucediendo en la digestión anaeróbica, los muestreos para los análisis fisicoquímicos correspondientes, se realizaron de manera exponencial, esto es, a los días 0, 1, 2, 4, 8, etc., según la curva de crecimiento de Monod (Met calf y Eddy, 1979).

Antes de obtener las muestras, eran registradas las temperaturas de la cámara y del contenido de los digestores, utilizando para ello un termómetro de mercurio escala -10 a -100°C. Una vez tomada la muestra, se reponía el volúmen del líquido extraído, procediendo después al cierre del digestor.

#### 4.3. Trabajo de laboratorio.

Una parte de cada muestra extraída (60 ml aproximadamente) era centrifugada a 10 000 r.p.m., durante 10 minutos. Esto se hacía con el objeto de eliminar toda la materia particulada que se encontraba suspendida. De los sobrenadantes se tomaron las alícuotas necesarias para los análisis respectivos. Dichos análisis que se llevaron a cabo en el laboratorio de Química y Productividad Acuática del Instituto de Biología, UNAM, consistían en determinar: amonio (de acuerdo a Wetzel y Likens, 1979); nitritos (técnica de Allen, et al., 1974); ortofosfatos y demanda química de oxígeno (técnicas de Carlberg, 1972). A partir de este último análisis, fué calculado el CO<sub>2</sub> metabolizable, el cual se obtuvo multiplicando -

los miligramos de oxígeno obtenidos, por un factor de conversión de 1.38, el cual representa al carbono como un elemento combinado de utilización directa por las bacterias (Lieth y Wittaker, 1975).

Para obtener los parámetros fisicoquímicos como pH y conductividad, se evaluaron con la muestra restante no centrifugada, utilizando para ello un potenciómetro portátil marca - Corning y un conductivímetro portátil YSI modelo 33.

#### 4.4. Consecución del experimento.

Concluido cada experimento se procedió a vaciar el contenido de los digestores, separando las fases líquida y sólida, utilizando para ello un cedazo de gaza. El volumen de -- bioabono líquido obtenido, fué medido en una cubeta calibrada. Por otro lado las muestras de bioabono sólido retenidas en el cedazo, fueron guardadas en bolsas de plástico para ser pesadas. Posteriormente se secaron al sol para finalmente volverse a pesar con el fin de calcular la pérdida de material, y así, por lixiviación determinar el rendimiento y características intrínsecas de cada estiercol.

#### 4.5. Análisis estadístico.

Dadas las características del trabajo experimental, a los resultados se les aplicó un análisis de varianza multivariado. Para llevar a cabo este análisis, se hizo uso del sistema de computo del Instituto de Biología, utilizando el programa de Análisis de Varianza del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS), subprograma "anova", con un nivel de significancia de  $p = 0.05$ . Como opciones este programa permite el cálculo de la covarianza y una tabla de análisis de clasificación múltiple, por medio de la cual los re--

sultados son expuestos de forma más específica. Este método es particularmente útil especialmente cuando los efectos de la interacción no son significativos y cuando los factores son variable nominales o atributos que no han sido manipulados experimentalmente, por lo tanto pueden ser intercorrelacionados (Padua, 1978).

El único problema que se tuvo para aplicar este análisis, fué el factor tiempo, ya que este tipo de análisis generalmente se manejan datos finales y estáticos (un mismo tiempo) y no de tipo dinámico o evolutivo; no obstante, según información obtenida del IIMAS, UNAM (Instituto de Investigaciones de Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la UNAM), éste análisis es válido.

Los resultados obtenidos tanto de los diferentes parámetros manejados, así como los estadísticos, se presentaron por medio de gráficos y tablas, con la finalidad de analizar de forma general todo el proceso anaeróbico.

## V. RESULTADOS.

### 5.1. Temperatura del medio y de los biodigestores.

La temperatura registrada dentro de los digestores, tuvo un comportamiento similar a la ambiental (Fig. 5). En el primer experimento ó criofílico, el cual se realizó a la temperatura ambiente normal de la cámara, varió muy poco, ya que fluctuó entre los 16 y 18°C (valor mínimo y máximo) y la registrada en las cubetas osciló entre los 17 y 18°C, siendo ambas muy semejantes (Fig. 5a). En el segundo experimento ó mesofílico, la temperatura ambiente llegó a estabilizarse a los 8 días con 29°C; no obstante la temperatura de las cubetas tardó en incrementarse, de tal manera que en el primer día ésta fué de 16°C para posteriormente alcanzar sus valores más altos entre los días 8 y 46, con 26 y 27°C, respectivamente (Fig. 5b). Debido a las condiciones técnicas de diseño, es posible encontrar variaciones dentro de la temperatura, sin encontrar una justificación adecuada.

### 5.2. Conductividad.

En todos los tratamientos del experimento criofílico, se observó durante los primeros días, un incremento regular, - siendo más notorio hacia el final en el tratamiento de gallina. Su máximo fué de 15916.5  $\mu$ mhos/cm<sup>2</sup>, mientras que los mínimos fueron en el tratamiento de borrego con el registro más bajo de 2774.8  $\mu$ mhos/cm<sup>2</sup> (Fig. 6a).

En el segundo experimento a temperaturas más altas (mesófilas), se observaron las mismas características, aunque con cifras superiores. Sin embargo a diferencia del anterior, los máximos se dieron a la mitad del proceso, alcanzando va-

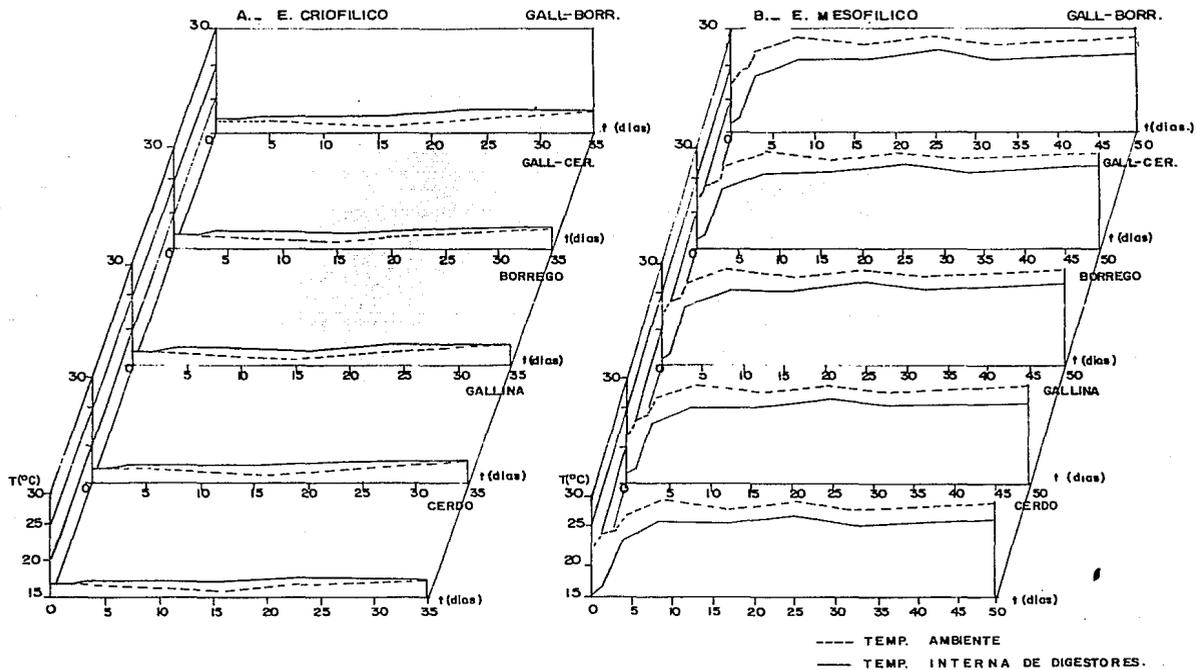


FIG. 5 - TEMPERATURA AMBIENTE E INTERNA DE LOS DIGESTORES EN LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO.

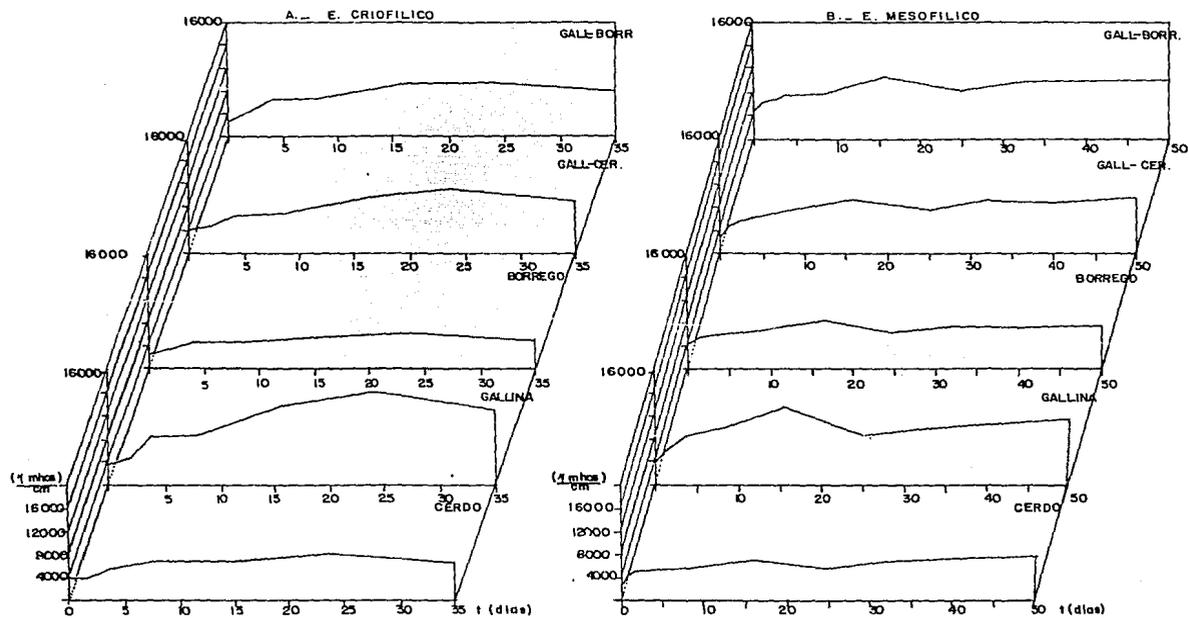


FIG. 6. - EVOLUCION DE LA CONDUCTIVIDAD DURANTE LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO ( $\mu \text{ mhos/cm}$ ;  $k = 25^\circ \text{C}$ )

lores máximos de 13649.3  $\mu\text{mhos/cm}^2$  en el tratamiento de gallinaza (Fig. 6b).

Con base al análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas en ambos experimentos, entre todos los tratamientos (Tabla 5). El coeficiente de variación para ambos experimentos fué similar, siendo de 46.6% para el primer experimento y de 33.1% para el segundo (Tabla 4).

### 5.3. Potencial de hidrógeno.

El comportamiento del pH, durante el primer experimento (temperaturas criófilas), presentó una clara estabilidad en todos los tratamientos, señalando una ligera tendencia ácida en especial en el tratamiento de cerdo, a excepción de la gallinaza, la cual mostró una mayor neutralidad. Los valores de pH oscilaron entre 7.75 y 5.35 a lo largo del proceso, lo que se vió reflejado en el coeficiente de variación que fué de 7.3% (Fig. 7a; Tabla 4).

El segundo experimento sujeto a temperaturas mesófilas, mostró la misma regularidad que el anterior, aunque con una mayor tendencia ácida (Fig. 7b). En forma particular durante los primeros días, se mostró una fuerte alcalinidad, lo que alteró significativamente el valor del coeficiente de variación que fué de 33.1% (Tabla 4). Los valores registrados después de esta etapa, oscilaron entre 7.45 y 5.23. El valor de F y obtenidos del análisis de varianza, demostraron diferencias significativas en ambos casos y en todas las modalidades trabajadas (Tabla 5).

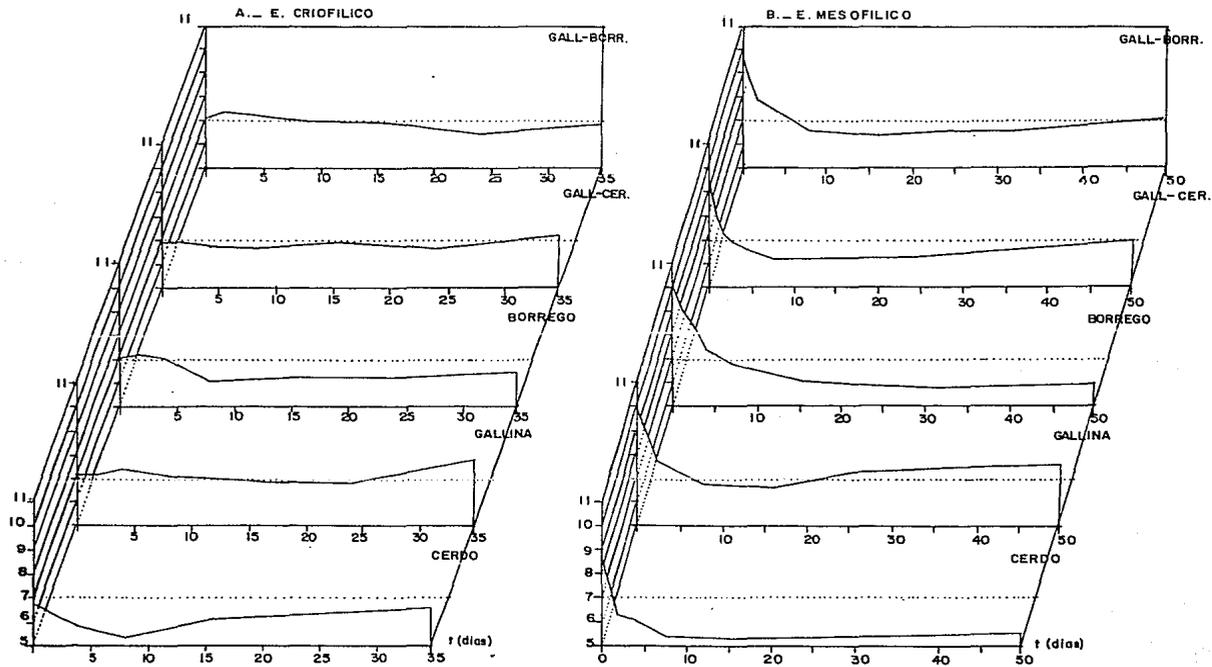


FIG. 7. — EVOLUCION DEL POTENCIAL DE HIDROGENO DURANTE LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO

#### 5.4. Nitritos.

Estos nutrientes presentaron una disminución marcada entre los primeros cuatro días (14.6 a 0.37 mg/l) considerando todos los tratamientos del experimento a bajas temperaturas. En cuanto al segundo, éste decremento se alcanzó en tan solo 2 días (21.9 a 0.11 mg/l). Es de importancia hacer notar que en el experimento mesofílico se obtuvieron concentraciones mayores en promedio sobre todo en el día 1 (Fig. 8a y b).

El coeficiente de variación de este parámetro fué muy alto, aunque muy similar entre ambos (284.3 y 274.8 para el primero y segundo experimento respectivamente), demostrando una alta variabilidad, reflejo de la desaparición tan rápida de este compuesto (Tabla 4). Por otro lado, y debido al corto tiempo en que se registró, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos en ambos experimentos (Tabla 5).

#### 5.5. Amonio total.

En todos los tratamientos del experimento criofílico (Fig. 9a), el amonio se incrementó en forma constante, especialmente durante los primeros días, alcanzando sus máximos hacia el final del proceso (día 35). Como una excepción, el tratamiento de gallina, mostró un incremento mayor al de los demás, llegando a valores de 969.6 mg/l, mientras que el de borrego fué el que tuvo las más bajas concentraciones de 33.58 mg/l hacia el día 2. Por otro lado, en el experimento mesofílico (Fig. 9b), el amonio presentó el mismo comportamiento, solo que con mayores concentraciones y con los máximos presentes a la mitad del proceso (alrededor del día 20). El valor máximo alcanzado por la gallinaza fué de 1357.7 mg/l el día 25.

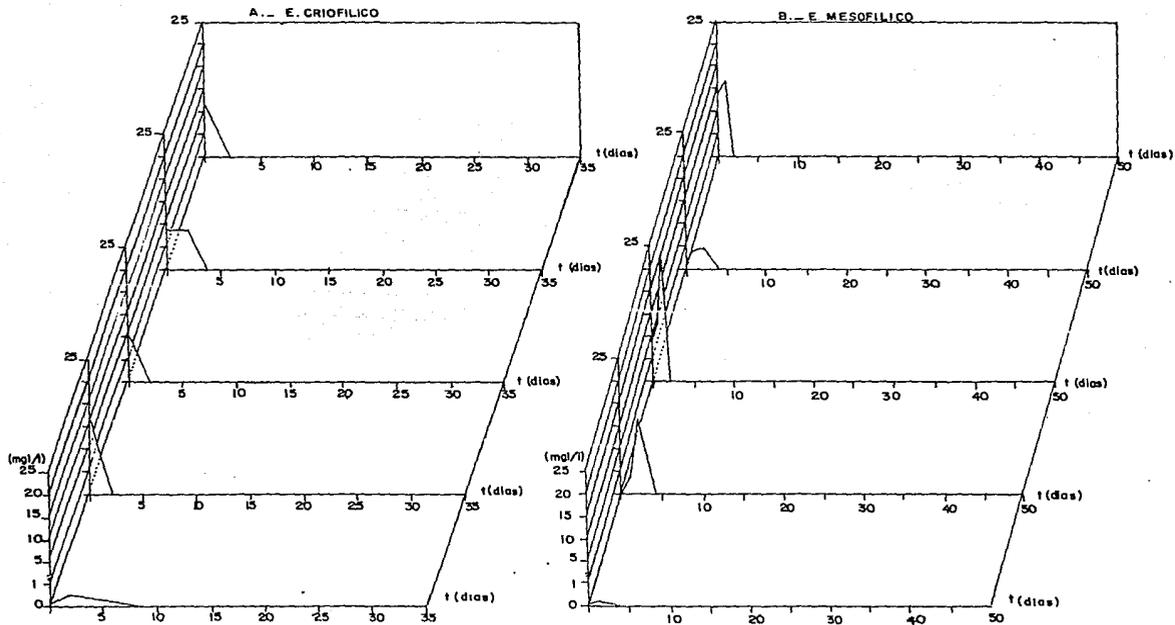


FIG. B.- EVOLUCION DE NITRITOS EN LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO ( $\text{NO}_2$   $\mu\text{g/l}$ ).

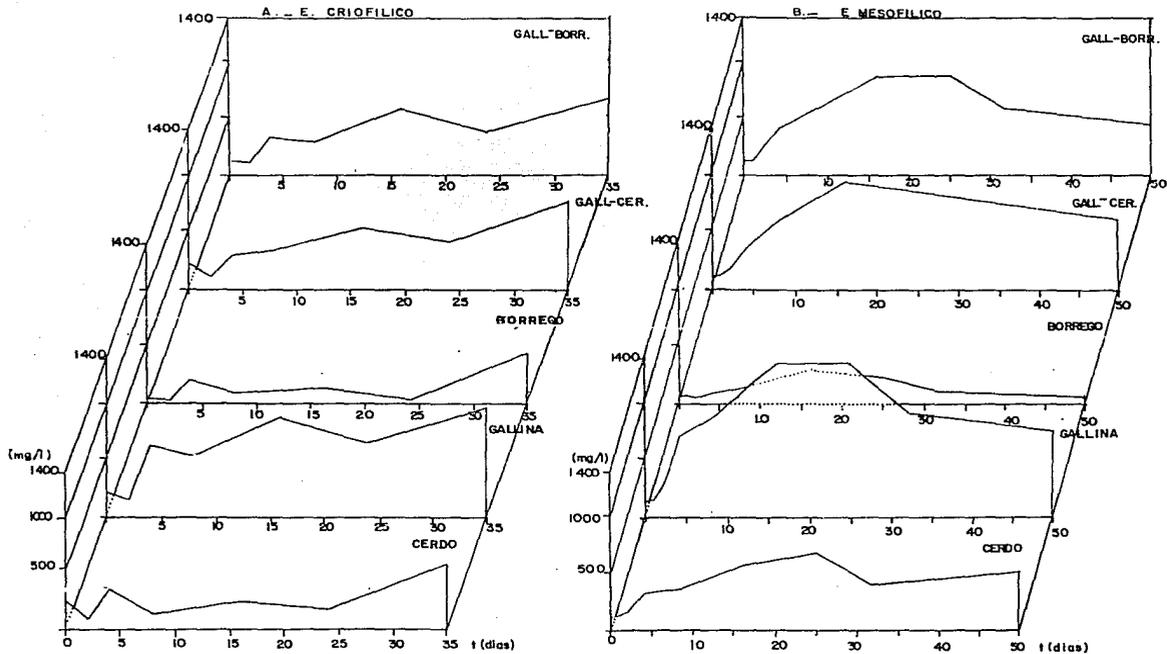


FIG. 9. - EVOLUCION DEL AMONIO TOTAL DURANTE LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ , mg/l)

Los coeficientes de variación de este parámetro, fueron muy similares, con valores de 71.1 y 81.2% para el experimento criofílico y mesofílico respectivamente (Tabla 4). Aparte, los valores de F (15.93 y 20.78) del análisis de varianza, - mostraron diferencias muy significativas entre todos los tratamientos de ambos experimentos (Tabla 5).

#### 5.6. Fósforo.

Bajo condiciones de temperaturas criófilas, el fósforo se mantuvo estable y homogéneo en todos los tratamientos, mostrando un ligero incremento a lo largo de todo el proceso; - sin embargo en el de cerdo, el aumento sobresalió a los demás, alcanzando concentraciones de 14.34 mg/l hacia el final (día 35) (Fig. 10a). De la misma manera, en el caso del experimento a temperaturas mesófilas, el fósforo presentó un patrón - similar al anterior, solo que nuevamente en el tratamiento de cerdo el incremento fue mucho mayor y más variable. En contraste con el experimento criofílico, los máximos se dieron entre los días 15 y 35, de los cuales el de cerdo fue de 25.55 mg/l el día 32 (Fig 10b).

Los coeficientes de variación mostraron una fuerte variabilidad para ambos experimentos, siendo menor para el criofílico (79%) y mayor para el mesofílico (101.7%) (Tabla 4). Los valores de F del análisis de varianza, resultaron ser muy similares entre sí (27.17 y 26.67), lo que demuestra la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos de ambos casos (Tabla 5).

#### 5.7. CO<sub>2</sub> metabolizable.

En el experimento criofílico, esta variable presentó una cierta estabilidad y regularidad en todos los tratamientos, -

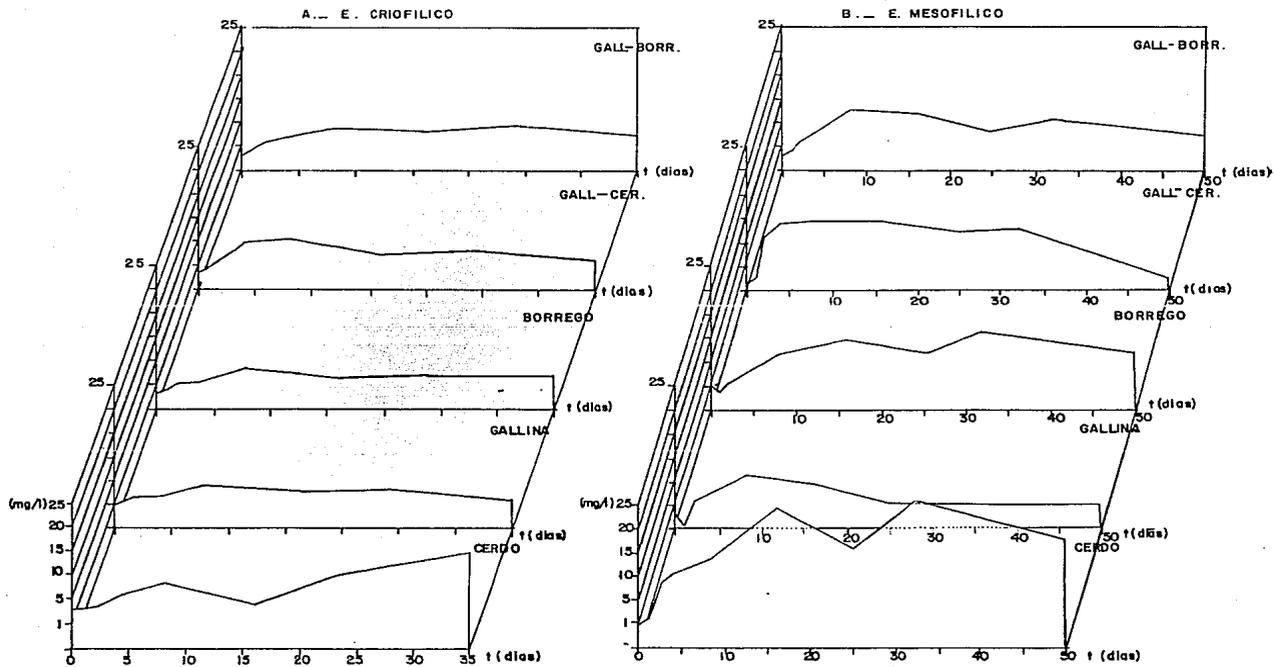


FIG. 10.- DESARROLLO DE LOS ORTOFOSFATOS DURANTE LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO ( $\text{HPO}_4$ , mg/l)

mostrando un decremento apenas perceptible de sus valores durante todo el proceso, a excepción de una marcada declinación acontecida durante los primeros 15 días. La máxima concentración se registró en el tratamiento de cerdo con un valor de 782.96 mg/l y el mínimo de 553.77 perteneciente al de gallina-cerdo (Fig. 11a).

En el experimento a mayores temperaturas, el  $\text{CO}_2$  metabolizable mostró un patrón similar, solo que la etapa de decremento inicial se presentó únicamente en los primeros 8 días; así también, la tendencia a la disminución al final del proceso fué más perceptible. La concentración máxima registrada fué de 756.7 mg/l en el tratamiento de gallina-borrego, siendo muy cercana a la máxima del experimento anterior (Fig. 11b).

Los coeficientes de variación obtenidos para ambos casos fueron diferentes, siendo de 7.1% para el primer experimento y de 14.8% para el segundo (Tabla 4). El análisis de varianza para este parámetro, únicamente mostró diferencias significativas para el segundo experimento, en todas sus modalidades (Tabla 5).

### 5.8. Proporciones de nutrimentos.

A partir de los valores de  $\text{CO}_2$  metabolizable, amonio, nitratos y ortofosfatos, fué posible calcular las proporciones de nutrimentos para cada bioabono, los cuales fueron hechos en base al peso atómico total de cada elemento.

Estas proporciones se hicieron para tres etapas diferentes de cada experimento. El criterio para definir las, fué considerando, de forma un tanto arbitraria, un comportamiento sigmoideal de las curvas de nutrimentos, tomando los si--

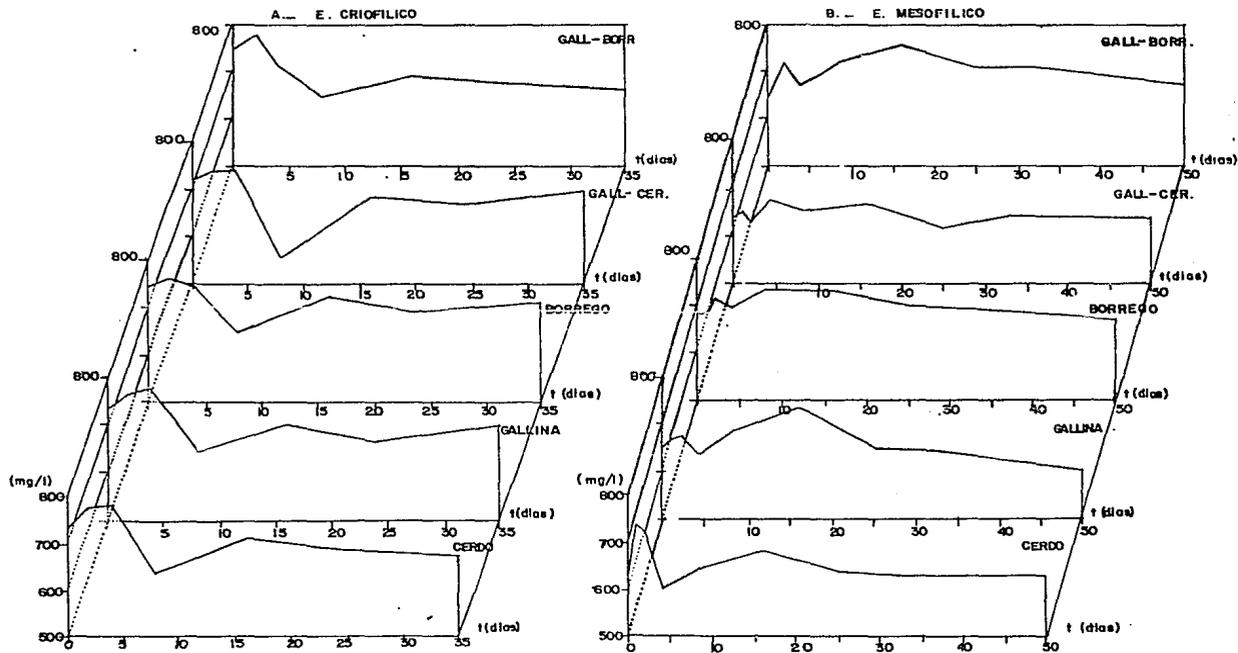


FIG. 11. — DESARROLLO DEL CO<sub>2</sub> METABOLIZABLE EN LOS EXPERIMENTOS CRIOFILICO Y MESOFILICO (mg/l).

guientes días para cada etapa:

|         | PRIMER EXPER. | SEGUNDO EXPER. |
|---------|---------------|----------------|
| INICIAL | DIAS 0 y 2    | DIAS 0, 1 y 2  |
| MEDIA   | DIA 16        | DIA 24         |
| FINAL   | DIA 35        | DIA 50         |

#### 5.8.1. Proporción de C/N.

Las proporciones de C/N obtenidas en el experimento criofilico (Tabla 3a), presentaron en general un decremento a través de las tres etapas arriba citadas, reflejando un aumento en la cantidad de nitrógeno con respecto al carbono. La proporción máxima fué de 4.3 :1 en borregaza al inicio y el mínimo de 0.20 :1 en el tratamiento de gallina al final del proceso. Para el experimento mesofilico (Tabla 3b), la situación fué en parte similar, ya que a diferencia del anterior, el máximo decremento se dió en la etapa media (día 24). La proporción máxima registrada fué de 24 :1 en el tratamiento de borrego al inicio del experimento y la mínima de 0.13 :1 registrada en el de gallina, en la etapa media (día 24).

#### 5.8.2. Proporción de N/P.

Con respecto a la proporción de N/P encontrada en el experimento criofilico (Tabla 3a), ésta mostró una fuerte heterogeneidad en sus valores, en todos los tratamientos. La proporción máxima obtenida fué de 729 :1 registrada en el tratamiento de gallina, reflejando un contenido bajo de fósforo con respecto al nitrógeno. La proporción mínima fué de 42.4 :1 en el tratamiento de cerdo, ambos al final del proceso. En el experimento mesofilico (Tabla 3b), se observó la misma heterogeneidad. La proporción máxima alcanzó un valor de 1379 :1, duplicando casi al obtenido en el caso anterior; di

cha proporción perteneció al tratamiento de gallina-cerdo. El mínimo obtenido fué de 3.9 :1 en cerdaza, ambos valores registrados en la etapa final (día 50).

TABLA 3. Proporciones de C/N y N/P de los diferentes tratamientos durante las etapas Inicial, Media y Final de los dos experimentos.

- A. Primer experimento.

|             | C/N     |        |        | N/P     |        |        |
|-------------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
|             | Inicial | Media  | Final  | Inicial | Media  | Final  |
| CERDO       | 1.1 :1  | 0.7 :1 | 0.3 :1 | 51 :1   | 62 :1  | 42 :1  |
| GALLINA     | 1.0 :1  | 0.2 :2 | 0.2 :1 | 150 :1  | 288 :1 | 729 :1 |
| BORREGO     | 4.3 :1  | 1.5 :1 | 0.4 :1 | 65 :1   | 64 :1  | 211 :1 |
| GALL - CER  | 1.2 :1  | 0.4 :1 | 0.3 :1 | 122 :1  | 183 :1 | 417 :1 |
| GALL - BORR | 2.0 :1  | 0.3 :1 | 0.3 :1 | 107 :1  | 170 :1 | 235 :1 |

- B. Segundo experimento

|             | C/N     |        |        | N/P     |         |         |
|-------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
|             | Inicial | Media  | Final  | Inicial | Media   | Final   |
| CERDO       | 1.4 :1  | 0.3 :1 | 0.3 :1 | 46 :1   | 44 :1   | 30 :1   |
| GALLINA     | 1.0 :1  | 0.1 :1 | 0.2 :1 | 239 :1  | 1234 :1 | 552 :1  |
| BORREGO     | 2.4 :1  | 0.8 :1 | 3.0 :1 | 66 :1   | 33 :1   | 9 :1    |
| GALL - CER  | 1.4 :1  | 0.2 :1 | 0.3 :1 | 62 :1   | 159 :1  | 1379 :1 |
| GALL - BORR | 1.2 :1  | 0.2 :1 | 0.4 :1 | 151 :1  | 244 :1  | 364 :1  |

Tabla 4. Datos fisicoquímicos y nutrientes registrados en los biodigestores durante el proceso de digestión de ambos experimentos.

A. Primer experimento

| Parámetro                                                | Unidad de reg.                   | X      | S      | Max     | Min    | %C.V. |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|---------|--------|-------|
| Temp. del digestor                                       | °C                               | 17.49  | 0.42   | 18.25   | 17.0   | 2.4   |
| Conductividad                                            | $\frac{\text{mmhos}}{\text{cm}}$ | 6707.7 | 3126.7 | 15516.5 | 2724.8 | 46.6  |
| pH                                                       | -                                | 6.74   | 0.492  | 7.75    | 5.35   | 7.3   |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> )                              | mg/l                             | 1.0095 | 2.87   | 14.5513 | 0      | 284.3 |
| Amonio (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | mg/l                             | 351.56 | 249.9  | 969.58  | 33.88  | 71.1  |
| Ortofosfatos (HPO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )            | mg/l                             | 3.497  | 2.763  | 14.344  | 0.536  | 79.0  |
| CO <sub>2</sub> metabolizable                            | mg/l                             | 707.4  | 50.06  | 782.96  | 553.77 | 7.1   |

B. Segundo experimento.

| Parámetro                                                | Unidad de reg                    | X       | S      | Max     | Min    | %C.V. |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|--------|---------|--------|-------|
| Temp. del digestor                                       | °C                               | 23.11   | 4.05   | 27.0    | 16.0   | 17.5  |
| Conductividad                                            | $\frac{\text{mmhos}}{\text{cm}}$ | 7200.04 | 2380.6 | 13649.8 | 2011.8 | 33.1  |
| pH                                                       | -                                | 7.133   | 1.32   | 10.23   | 5.23   | 18.5  |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> )                              | mg/l                             | 1.63    | 4.48   | 21.985  | 0      | 274.8 |
| Amonio (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | mg/l                             | 444.4   | 361.04 | 1357.7  | 43.3   | 81.2  |
| Ortofosfatos (HPO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )            | mg/l                             | 5.95    | 6.05   | 25.55   | 0.029  | 16.8  |
| CO <sub>2</sub> metabolizable                            | mg/l                             | 659.84  | 97.9   | 756.7   | 604.12 | 14.8  |

Tabla. 5 . Resultados del Análisis de Varianza.

## A. Primer experimento.

|                                             | Conductividad |          | NO <sub>2</sub> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | CO <sub>2</sub> metabol |       |
|---------------------------------------------|---------------|----------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|
|                                             | mmhos/cm      | pH       | (mg/l)          | (mg/l)                       | (mg/l)                        | (mg/l)                  |       |
| Desv. de la X total<br>ajust. por independ. | F             | 14.868   | 33.379          | 1.341                        | 15.931                        | 27.173                  | ----- |
|                                             |               | -0.00    | 0.00            | 0.258                        | -0.00                         | -0.00                   | ----  |
|                                             | gran X        | 6707.64  | 6.74            | 0.99                         | 351.61                        | 3.45                    | ----  |
|                                             | eta           | 0.56     | 0.71            | 0.20                         | 0.57                          | 0.67                    | ----  |
|                                             | Cerd          | -1099.21 | -0.61           | -0.85                        | -68.0                         | 3.67                    | ----  |
|                                             | Gall          | 2959.07  | 0.45            | 1.09                         | 232.98                        | -1.03                   | ----  |
|                                             | Borr          | -2206.46 | -0.13           | -0.18                        | -207.86                       | -1.48                   | ----  |
|                                             | G+C           | 429.18   | 0.09            | 0.12                         | 31.81                         | -0.46                   | ----  |
|                                             | G+B           | -82.57   | 0.22            | -0.19                        | 11.07                         | -0.71                   | ----  |

## B. Segundo experimento

|                                             | Conductividad |          | NO <sub>2</sub> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | CO <sub>2</sub> metabol |        |
|---------------------------------------------|---------------|----------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
|                                             | mmhos/cm      | pH       | (mg/l)          | (mg/l)                       | (mg/l)                        | (mg/l)                  |        |
| Desv. de la X total<br>ajust. por independ. | F             | 11.53    | 8.992           | 1.742                        | 10.776                        | 26.605                  | 15.61  |
|                                             |               | 0.00     | 0.00            | 0.143                        | 0.00                          | -0.00                   | 0.00   |
|                                             | gran X        | 7199.38  | 7.13            | -----                        | 375.62                        | 5.93                    | 674.25 |
|                                             | eta           | 0.46     | 0.42            | 0.20                         | 0.45                          | 0.62                    | 0.51   |
|                                             | Cerd          | -1691.10 | -1.01           | -0.69                        | -9.84                         | 7.04                    | -18.66 |
|                                             | Gall          | 1444.32  | 0.59            | 0.36                         | 128.72                        | -3.70                   | -12.77 |
|                                             | Borr          | -518.79  | 0.19            | 0.02                         | -237.73                       | -0.57                   | 30.49  |
|                                             | G+C           | -100.10  | -0.07           | 0.06                         | 25.51                         | -0.36                   | -24.62 |
|                                             | G+B           | 865.68   | 0.29            | 0.25                         | 93.34                         | -2.41                   | 25.57  |

## VI. DISCUSION GENERAL

### 6.1. Parámetros fisicoquímicos.

#### 6.1.1. Temperatura del medio y los digestores.

De acuerdo a la clasificación desarrollada por Sasse -- (1984), en este estudio se llevaron a cabo dos tipos de procesos digestivos de la materia orgánica: el denominado criofílico, el cual se realiza entre un intervalo de temperaturas de 10 a 20°C; el primer experimento se puede clasificar bajo este término ya que se registraron 17 y 18°C. El mesófilico incluye temperaturas que van de los 20 a los 35°C; el segundo experimento cae dentro de esta categoría, puesto que este factor varió entre los 16 y 27°C (temperatura interna). Desde el punto de vista teórico las reacciones bioquímicas se aceleran conforme la temperatura aumenta (Leningher, 1977; Kelly y Switzenbaum, 1984).

#### 6.1.2. Conductividad.

De acuerdo con Entz (1980), el incremento de la conductividad observado durante este estudio, puede ser interpretado como un efecto indirecto de la actividad bacteriana, la cual conforma el papel primordial de la digestión. Se puede agregar que este incremento en la conductividad refleja de cierta manera el grado de disolución que van experimentando paulatinamente los materiales, tanto a través de procesos de lixiviación como por la actividad microbiana, que van provocando un aumento en la concentración de sales en el medio -- (Boyd, 1979). Golterman (1978) señaló que la conductividad es dependiente de la temperatura, sin embargo este efecto no

fué muy apreciable en este caso.

Como una observación en particular, al final del primer experimento se registró una ligera baja en la conductividad, en todos los tratamientos (de 10048.5 a 12765.5 en los días 24 y 35); no obstante se puede suponer que esto fué reflejo de algún efecto combinado de las demás variables, como serían particularmente el pH, el amonio, fósforo, la misma temperatura (Golterman, 1978), y/o precipitación de sales húmicas (De la Lanza, 1986).

Analizando este parámetro a nivel de tratamientos, los de gallina y sus combinaciones, registraron valores de conductividad mayores, mientras que los de borrego y cerdo fueron menores, lo cual indica que los primeros tienen una mayor concentración de sales o iones que al descomponerse y estar en solución aumentan la conductividad. Este efecto puede por lo tanto deberse a la diferente composición de cada estiercol, en consecuencia el de gallina resulta ser el más rico en componentes nitrogenados y los de cerdo y borrego, los más pobres (Fry, 1974). Por otro lado Vázquez (1986), en un estudio realizado en digestores abiertos, encontró una relación entre el amonio y la conductividad, situación que se repitió en este caso, lo que resulta explicable desde el punto de vista de su concentración y su condición de disociación.

### 6.1.3. Potencial de hidrógeno.

La mayoría de los procesos biológicos se llevan a cabo en intervalos de pH entre 5 y 9 (Fry, 1974). El pH registrado durante los dos experimentos osciló dentro de este valor; sin embargo, para la digestión anaeróbica, algunos autores (Taiganides, 1977; Fry, 1974), señalan que el intervalo óptimo es de 7 a 8. En este caso a excepción de la parte inicial del -

experimento mesofílico, en la mayoría de los tratamientos el pH fué inferior (7.75 a 5.35 durante todo el experimento criofílico y de 7.46 a 5.23 de cuarto día en adelante en el mesofílico), en especial en los tratamientos de cerdo y borrego. Esto fué debido principalmente, a que el proceso de fermentación anaeróbica, está considerado como formador de ácidos orgánicos, los cuales funcionan como aceptores de iones hidrógeno, en ausencia del oxígeno molecular (Leningher, 1977). - Por otro lado, estudios realizados por Fry (1974), describen que al inicio de una digestión anaeróbica se da una fase acidica, como sucedió en este caso, dicha etapa suele durar alrededor de dos semanas, llegando el pH a bajar a 6 ó más. Este fenómeno se explica por el desprendimiento de CO<sub>2</sub> que se va produciendo durante la fermentación (Boyd, 1979). Las diferencias observadas durante el desarrollo de los dos experimentos, posiblemente fueron debidas al efecto de la temperatura sobre el proceso. Pfeffer (1974) y Maly y Fadrus (1971), señalan que el aumento en la temperatura tiene un efecto muy importante en el pH, especialmente sobre la solubilidad del CO<sub>2</sub> en el bioabono líquido. Al respecto, en la presente contribución, se observó que a mayor temperatura se daba una mayor condición acidica.

Con respecto a las diferencias de pH entre los tratamientos, se vió que los de cerdo y borrego fueron los que presentaron un pH más ácido, y por el contrario, los tratamientos de gallina fueron más alcalinos. En este caso las variaciones pueden deberse a la diferente composición de cada uno de los materiales usados. Pfeffer (1974) menciona que la cantidad de proteína que existe en el material en descomposición, puede afectar la capacidad amortiguadora del sistema, ya que al deaminarse la proteína produce amonio, que al reaccionar con el agua aumenta el pH (Alexander, 1977; Blanchard y Grill, 1984). Con esto se puede entender que la gallinaza, que es rica en componentes nitrogenados (Fry, 1974), mantuvo un pH más estable y alcalino; mientras que las excretas de -

cerdo y borrego que son comparativamente más pobres en dichos componentes, tuvieron mayores fluctuaciones y más acidéz que los demás.

Con respecto a la fase alcalina observada al inicio del experimento mesofílico, únicamente se pudieron hacer conjeturas sobre el porque de este fenómeno, ya que no se contó con la literatura suficiente que permitiera dar una explicación clara.

Las posibles razones que en conjunto pudieron causar esta alta alcalinidad, fueron las siguientes:

a) Condiciones diferentes en el manejo y distintos tiempos de almacenamiento de las excretas. En el experimento criofílico, el material ya seco se mantuvo almacenado en refrigeración por un período de aproximadamente dos meses antes de iniciarse el proceso, por lo cual el material pudo haber tenido cambios en sus componentes; sin embargo el estercol de gallina fué el mismo para ambos experimentos y presentó la misma condición alcalina que los demás tratamientos del proceso mesofílico.

b) En el experimento criofílico, la cantidad de cal adicionada fué de 5 g por 1500 g de material seco (0.025%); para el experimento mesofílico se duplicó a 10 g (0.50%), lo cual pudo ser otra de las razones de la alta alcalinidad.

## 6.2. Nutrimientos.

En este trabajo el nitrógeno fué determinado en forma de nitritos y amonio total, de los cuales la primera especie química se presentó únicamente durante los primeros 4 días, mientras que el amonio se detectó durante todo el tiempo.

Clifford (1974), explica que dentro de un digestor anaeróbico, el nitrógeno solo se presenta como amonio ó nitrógeno orgánico, en cambio los nitritos y nitratos casi no se detectan por lo que se puede decir que el ambiente es netamente reductor (Wellinger, 1984).

Conforme avanzó el proceso de digestión, los nitritos disminuyeron, pasando a formar parte del amonio. El incremento de este último fué como resultado de los procesos de desaminación de las proteínas de los materiales en descomposición (Laguna, 1967; Margalef, 1977). Se comprende además que la concentración relativa de amonio es mayor donde la descomposición es más activa. Además, Duursman (1981) y Metcalf (1979), señalan que la proporción de amonio sirve como un indicador del grado de descomposición de un material de desecho. Por otro lado, haciendo una comparación entre los dos experimentos, se observó que las concentraciones de amonio en el experimento mesofílico fueron mayores a las del criofílico, lo que hace resaltar la influencia determinante de la temperatura sobre este compuesto, que a su vez se refleja en incrementos de la conductividad y el pH.

En todos los tratamientos del experimento mesofílico, se detectó una disminución en la concentración de amonio. Según Alexander (1977), este compuesto se puede volatilizar en forma de amoníaco, ya sea por el incremento en la temperatura, o bien, cuando el pH se eleva hasta llegar a valores cercanos a 9. Sin embargo, en algunos casos el pH permaneció cerca de la neutralidad o ligeramente ácido y la temperatura no llegó a valores extremos que en conjunto pudieran causar esta disminución. Por otro lado, basandose en lo que dice Fry (1974), este decremento pudo también ser debido al consumo por bacterias.

A nivel de tratamientos, las concentraciones más altas

de nitritos y amonio se registraron en la gallinaza, lo cual coincide con Fry (1974), quien reportó que los excrementos de aves de corral son los más ricos en nitrógeno. Esto, lo explica porque las heces y la orina de estos animales son eliminadas juntas, y, como la orina es la principal vía de excreción de nitrógeno, la concentración de este elemento es mayor. Por su variedad de dietas y hábitos alimenticios, las excretas de cerdo, así como las de humano y otros se mantienen en segundo orden, seguidos por último las de borrego, vaca y otros ruminantes, quienes dependen en gran medida de las bacterias para la digestión de su alimento.

El fósforo fué determinado como ortofosfatos solubles, - lo que solo representa una fracción del fósforo total presente en los materiales usados. Gerritse (1981), menciona que el fósforo en los desechos animales, se encuentra presente - como fósforo orgánico e inorgánico, de los cuales el primero representa la mayor parte. Dentro del fósforo inorgánico una buena parte está como ortofosfatos (Margalef, 1977). No obstante se puede tomar como representativa ésta estimación del fósforo, debido a que ésta especie química es la que se considera como fuente de fósforo directamente disponible en el bioabono, para fines de fertilización.

En los dos experimentos, el fósforo se fué incrementando, siguiendo un patrón muy similar al del amonio, lo cual - confirma lo referido anteriormente por Duursman (1981), quien menciona que la acumulación de amonio y fósforo sirven para estimar el grado de descomposición de la materia orgánica.

Al compararse el comportamiento del fósforo en ambos experimentos, se encontraron diferencias muy marcadas, ya que en el mesofílico se vió que el incremento fué mayor y más rápido, lo cual hace suponer que la temperatura aceleró el proceso de liberación. Por otro lado Gerritse (1984), encontró

que el contenido de fósforo de los desechos animales no es - significativamente alterado con el almacenamiento, pero sí se logra dar un decremento constante después de un determinado - tiempo, lo cual también justifica que en el primer experimen- to, en el cual se usaron estiercoles almacenados, los niveles de fósforo fueran comparativamente más bajos. No obstante se puede observar que para el tratamiento de gallina, para el - cual se utilizó la misma muestra de estiercol en ambos experi- mentos, el nivel de fósforo para cada uno fué diferente, en- contrándose mayor concentración en el experimento mesofílico, lo cual confirma que la temperatura tiene un marcado efecto sobre la tasa de descomposición.

A nivel de tratamientos, el cerdo tuvo las concentracio- nes más altas de fósforo, por el contrario el de gallina pre- sentó los más bajos contenidos. Según lo reportado por Grana- dos (1984) y Teuscher (1982), la gallinaza es la que tiene - los más altos contenidos de fosfatos, comparado con las excre- tas de otros animales, como la vaca; esto lo justifican por - que el alimento que reciben las gallinas, contiene altas con- centraciones de fosfatos en condiciones difíciles de digerir, en cambio animales como los rumiantes, quienes no reciben die- tas balanceadas, sus necesidades de fósforo las cubren a par- tir de su alimento natural, mermando los sobrantes de este e- lemento.

Al investigar sobre las dietas que reciben los animales utilizados en el presente trabajo, se observó que el alimento que reciben las gallinas adultas, contiene más fosfato que el que se administra a los cerdos ( $\bar{x}$  = 1.74% y  $\bar{x}$  = 1.26% respecti- vamente), (National Research Council, 1979), lo cual aunque no se reflejó en los resultados, es probable que ese fosfato no se aprovechó totalmente, permaneciendo en las excretas, - como fósforo orgánico combinado, el cual no se determinó en la presente contribución.

Al final del proceso de digestión, se pudo observar en ambos casos, un decremento en la concentración de fósforo, - especialmente durante el experimento mesofílico, llegando en algunos casos a disminuir hasta concentraciones parecidas al inicio. Gerritse (1984) y Margalef (1977), afirman que el pH es un factor importante que afecta en el nivel de fósforo en solución, pues a un aumento del pH éste se precipita, especialmente en presencia de calcio y magnesio, aunque en este caso, el aumento del pH no fué más allá del punto neutro, lo cual no puede ser considerado como uno de los causantes de este fenómeno; también existe la posibilidad de que parte del fósforo pudo haber sido inmovilizado al ser consumido por las bacterias y hongos presentes.

Analizando el comportamiento del CO<sub>2</sub> metabolizable en todos los tratamientos de ambos experimentos, éste mostró una gran similitud, lo que significa que las características químicas del carbono disponible para las bacterias, son parecidas para cada experimento.

Las fluctuaciones observadas en las gráficas pueden ser posibles a aspectos técnicos, ya que entran en juego diversos factores que son: Las condiciones de oxidación en el análisis empleado y estructura de los componentes orgánicos (Carlberg, 1972).

Al iniciarse la digestión, se logra apreciar en ambos experimentos dos diferentes fases. La primera con un incremento inicial de la concentración de CO<sub>2</sub> metabolizable (cuatro y dos días para el criofílico y el mesofílico respectivamente) y después con un decremento repentino del mismo (ocho días para el criofílico y cuatro para el mesofílico).

Alexander (1977), González (1985) y De la Lanza (1986), consideraron una serie de pasos a través de los cuales la -

materia orgánica entra en descomposición. Al inicio de la degradación, se da una fuerte liberación de compuestos altamente hidrosolubles y fáciles de utilizar y que son producidos a través de procesos de autólisis y lixiviación, los cuales son rápidamente consumidos por bacterias y hongos que colonizan la materia orgánica. Posteriormente la degradación se va haciendo cada vez más lenta, con el consecuente aumento proporcional de compuestos orgánicos de estructura compleja, difíciles de degradar por los organismos. Esto explica entonces, que después de darse el decremento del  $\text{CO}_2$  metabolizable, se registrara un ligero aumento y estabilización, lo cual se interpreta como la permanencia de compuestos carbonados refractarios difíciles de degradar, tales como la lignina, celulosa y hemicelulosa, que son consumidos muy lentamente por un grupo minoritario de organismos. La permanencia de estos compuestos puede ser la causa del bajo coeficiente de variación obtenido en este parámetro.

Dos diferencias importantes observadas entre los dos experimentos fué el grado de fluctuación que tuvieron ambos casos, así como también la variación en el período y duración en que se dieron las fases de liberación y consumo de los compuestos lábiles. En ambos casos la condición que pudo afectar estos dos hechos fué probablemente la temperatura (Duursman, 1981). Según Alexander (1977), la mineralización del carbono es menor a bajas temperaturas, lo cual podría significar que en el experimento criofílico la velocidad de descomposición es más lenta.

### 6.3. Relación de nutrimentos.

Desde el punto de vista biológico, los digestores pueden considerarse como un cultivo de microorganismos, principalmente de bacterias y hongos, los cuales se alimentan fundamentalmente de carbohidratos, proteínas y sus derivados, que

son presentaciones elaboradas del carbono, nitrógeno y fósforo (Anónimo, 1983 y Fry, 1974), además si se considera que la proporción de estos compuestos en el cuerpo de los organismos oscila entre 100:14:1 (Margalef, 1977), la cantidad de éstos en su alimento cobra mayor importancia, ya que este debe cubrir los requerimientos metabólicos más esenciales. Según Fry (1974), la digestión anaeróbica funciona mejor cuando el material fresco de alimentación contiene una cierta proporción de carbono y nitrógeno (C/N). Existen grandes discrepancias con respecto a este valor, ya que por un lado Taiganides (1977) menciona que una proporción de 16:1 es la óptima, mientras que otros autores como Fry (1974), Anónimo (1983) y Hawkes, et al., (1978), señalan que una proporción aproximada de 30:1 es la adecuada, ya que aseguran que las bacterias consumen 30 veces más rápido el carbono que el nitrógeno.

Si se compara cualquiera de estos valores con los obtenidos al inicio durante los dos experimentos (Tabla 3), se ve que no llegan a alcanzar la proporción indicada anteriormente, a pesar de que se les adicionó paja molida en una proporción de 1:4 (una parte de paja por cuatro de estiercol) con el objeto de aumentar las proporciones de C/N, ya que según Mandujano (1972), los desechos agrícolas como la paja tienen una relación de C/N alta, lo cual al mezclarla con otros materiales, compensa los bajos contenidos de carbono que éstos puedan tener. No obstante, es importante recalcar que las cantidades de carbono y nitrógeno que se determinaron fueron únicamente en la fase líquida y no en el material sólido, donde precisamente se encuentra la mayor parte de la materia orgánica sin degradar, detectando únicamente una porción del total; así también la proporción de C/N medido químicamente en el laboratorio no es la misma que la utilizable por las bacterias (De la Lanza, 1986, comunicación personal), por lo que el valor de C/N obtenido no es representativo.

Conforme avanzó la fermentación, esta proporción fué - disminuyendo como resultado de los cambios experimentados en cada uno de los nutrimentos, especialmente el nitrógeno, el cual fué aumentando en ambos experimentos ocasionando que el valor de C/N bajara en cada una de las tres diferentes etapas antes discutidas, con excepción del experimento mesófilo, - donde la disminución del nitrógeno en el bioabono causó la elevación de esta proporción. En relación a esto, Mandujano (1979), explicó que cuando las proporciones de C/N en las materias primas son bajas, el carbón se agota rápidamente, - provocando la acumulación del nitrógeno en forma de amonio, ocasionando así el paro en la digestión, sin embargo este no es el caso, ya que no se asegura que la fuente de carbono - sea limitada, sino que por el contrario ésta se encuentra en grandes cantidades en las materias primas, especialmente en la paja molida adicionada y los materiales celulósicos y lígnicos que se encuentran semidigeridos en las excretas, por - lo que para este caso las proporciones bajas de C/N como las obtenidas en la gallinaza son las mejores para fertilización.

Es importante recordar que no todo el carbón que se encuentra presente es oxidable, ni tampoco todo el carbón oxidable es utilizado por las bacterias, por lo que sería importante aclarar cuales fueron los criterios de análisis de cada autor y como determinaron las proporciones que se señalan para poder así hacer una comparación válida entre lo que se obtuvo en este caso y lo que reportan cada uno de ellos.

Con respecto a la proporción de N/P se encontró una gran heterogeneidad en los valores registrados, no definiéndose un patrón característico entre los experimentos y tratamientos, ya que tanto el nitrógeno como el fósforo tuvieron cada uno un incremento muy particular con diferentes niveles y tiempos, por lo que resulta difícil precisar el momento en que - las proporciones de N/P de los diferantes bioabonos sean las

con las cuales fueron comparadas, ni a las de otros fertilizantes orgánicos (Fry, 1974; Porras, 1981).

Como parte adicional, la temperatura para ambas proporciones, no ocasionó un efecto observable en sus valores, esto no implica que no tenga alguna influencia sobre los mismos, ya que hay que tomar en cuenta que las fluctuaciones de cada elemento que puedan ser causadas por este parámetro en relación a los demás, es muy variable, pudiendo causar un enmascaramiento del efecto de la temperatura.

La cantidad y características de los materiales orgánicos disponibles para ser usados en digestores, varían ampliamente dependiendo de muy diversos factores como son: El clima, el tipo de animal, la alimentación y grado de confinamiento de los mismos, métodos de colecta de los desechos, disponibilidad, y otros, por lo cual es muy difícil determinar la cantidad y calidad de los materiales orgánicos (Fry, 1974).

Como se mencionó en el capítulo de material y métodos, se consideró a la lixiviación de los diferentes materiales y el rendimiento en la producción de bioabono líquido, para poder determinar algunas características intrínsecas de los excrementos que pudieran servir de base para seleccionar el que reúna las características más apropiadas para su uso.

Al referirse a la lixiviación, se observaron diferencias obvias entre ambos experimentos siendo mayor en el mesofílico, lo que determinó una influencia franca de la temperatura sobre la lixiviación. Además entre tratamientos se encontraron diferencias muy marcadas, especialmente en los realizados con una sola excreta.

adecuadas para ser utilizados como fertilizantes. Según It-mavirta (1980) y Parson (1972) un fertilizante que tenga una proporción de N/P que oscile entre 10:1 y 7:1 provee de un suplemento nutricional adecuado para el incremento de la productividad de un embalse; así las proporciones de N/P registradas durante todo este estudio rebasan en gran medida el valor de la proporción antes señalada (Tabla 3), lo cual reflejó un déficit muy grande en el contenido de fósforo con respecto al nitrógeno, más aún, si se considera al fósforo como nutrimento limitante en la productividad acuática (Margalef, 1977; Hall, et al., 1970; Dickman, et al., 1972).

Únicamente en el tratamiento de borrego, en la etapa final del experimento mesofílico, se logró obtener una proporción de N/P dentro del intervalo antes señalado (9:1); esto fué debido principalmente a que se dió una baja muy marcada en los niveles de nitrógeno, más que por el incremento en el fósforo. Aunque la proporción de 9:1 refleja un alto contenido de fósforo, no es razón suficiente para decir que este bioabono en esa etapa pueda proveer del suplemento adecuado de nitrógeno y fósforo para fines de fertilización, puesto que el valor de una proporción no refleja las cantidades reales de cada nutrimento, ya que si se observa en la Tabla 7, las concentraciones obtenidas son mucho menores a las encontradas en los demás. En el tratamiento de cerdo se registró la mejor proporción (42:1 y 30:1) y la máxima concentración de fósforo, hacia la etapa final, lo cual indica que para fines de fertilización basado en fósforo, el bioabono de cerdo es el mejor. De la misma manera que fué analizada la relación de C/N, se puede decir que los valores de N/P encontrados no son tan válidos, ya que hay que recordar que las especies químicas inorgánicas determinadas en este estudio no representan el total del nitrógeno y fósforo presentes en el bioabono, por lo que las proporciones obtenidas no equivalen a las dadas en fertilizantes artificiales

El mayor porcentaje de masa lixiviada se dió en los tratamientos de gallina con un 60.1 y 70.3% para el experimento criofílico y mesofílico respectivamente, seguido del tratamiento de cerdo con porcentajes de 38.5 y 66.9 respectivamente, por último el de borrego con 8 y 13% respectivamente (Tabla 6). Esta graduación pudo haber sido debida a: Diferencias de densidad, compactación de los materiales y tamaño de partícula, ya que por ejemplo en el caso de la gallinaza, que estaba compuesta por gránulos más finos, al diluirse con el agua, gran parte de su masa se particuló más, en cambio la borregaza se caracterizó por tener partículas más gruesas pero poco compactas consistente en su mayor parte de desechos fibrosos, producto de la alimentación y digestión del animal, que impidió de gran manera la liberación del material orgánico a la fase líquida. Estudios realizados por Granados -- (1984) aseguran como caso particular, que el estiercol digerido de gallina supera en densidad al estiercol de vaca, lo que explica entonces que la gallinaza haya tenido un mayor grado de lixiviación en comparación con los otros tratamientos.

Por otro lado, un tercer efecto de las diferencias de lixiviación que pudo tener efecto sobre ambos experimentos, fué el tiempo de almacenaje y mayor desecación al que estuvieron sujetas las excretas, que de alguna manera pudo afectar en su capacidad de lixiviación.

#### 6.4. Producción de nutrimentos.

La producción de nutrimentos en los diferentes tratamientos, fué evaluada por volúmen, a partir de la concentración máxima por litro y por el total de bioabono líquido producido.

Tabla 6. Promedios de las fases líquida y sólida de los contenidos de los digestores, al final de la digestión.

A. Primer experimento

| TRATAMIENTOS | Bioabono sólido húmedo (Kg) | Bioabono sólido seco (Kg) | Sólido lixiviado (Kg) | % Sólido lixiviado del total |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| CERDO        | 3.204                       | 0.923                     | 0.578                 | 38.5                         |
| GALLINA      | 1.945                       | 0.600                     | 0.901                 | 60.1                         |
| BORREGO      | 5.335                       | 1.406                     | 0.119                 | 7.95                         |
| GALL + CER   | 2.704                       | 0.827                     | 0.673                 | 44.9                         |
| GALL + BORR. | 3.764                       | 0.790                     | 0.499                 | 33.3                         |

B. Segundo experimento.

| TRATAMIENTOS | Bioabono sólido húmedo (Kg) | Bioabono sólido seco (Kg) | Sólido lixiviado (Kg) | % Sólido lixiviado del total |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| CERDO        | 1.934                       | 0.497                     | 1.003                 | 66.9                         |
| GALLINA      | 1.367                       | 0.446                     | 1.055                 | 70.3                         |
| BORREGO      | 4.776                       | 1.308                     | 0.193                 | 12.9                         |
| GALL + CER.  | 1.455                       | 0.348                     | 1.153                 | 76.8                         |
| GALL + BORR. | 2.775                       | 0.624                     | 0.876                 | 58.4                         |

Al referirse a la producción de nutrimentos por litro, se encontró que de los tres nutrimentos, el carbono fué el - único que mostró una gran homogeneidad en todos los trata-- mientos de ambos experimentos, con concentraciones máximas - que fluctuaron entre los 185.1 a 213.3 mg/l en un tiempo de retención promedio de 3 días para el experimento criofílico y de 7.8 días para el mesofílico (Tabla 7).

Con respecto a los demás nutrientes, tanto el nitrógeno como el fósforo, mostraron una fuerte heterogeneidad en todos los tratamientos, siendo mayores las concentraciones corres-- pondientes al experimento mesofílico.

Los máximos de nitrógeno fluctuaron entre los 445.8 y los 969.6 mg/l en el experimento criofílico, con un tiempo de retención de 35 días y en el mesofílico entre los 297.3 y 1357.7 mg/l a los 21 días promedio, correspondiéndole al tra-- tamiento de gallina los máximos en ambos casos.

Para el fósforo, las concentraciones máximas registra-- das a los 17 días fluctuaron entre los 4.0 y 14.3 mg/l en el experimento criofílico y entre 6.4 a 25.5 mg/l en el experi-- mento mesofílico, a los 13 días de retención, correspondiendo al tratamiento de cerdo los máximos para ambos casos.

Tomando en cuenta el volúmen final de bioabono líquido producido, estos valores se vieron modificados dadas las ca-- racterísticas de densidad de cada estiércol. Dichos valores se ilustran comparativamente con los representados por mg/l en la Tabla 7.

Los tiempos de retención correspondientes al experimento a temperaturas mesófilas, fueron menores a las del criofli-- co, además de que las concentraciones de nutrientes del pri-- mer caso, fueron superiores. Esto demuestra una influencia

TABLA 7. Cuadro comparativo de la producción de nutrimentos máximos de cada tratamiento evaluado por litro y por volúmen total de bioabono líquido,

A. PRIMER EXPERIMENTO

| TRATAMIENTOS                     | C (mg/l)  | N (mg/l)   | P (mg/l)   |
|----------------------------------|-----------|------------|------------|
| CERDO                            | 213.3 (4) | 608.1 (35) | 14.34 (35) |
| GALLINA                          | 212.9 (4) | 969.6 (35) | 4.04 (8)   |
| BORREGO                          | 208.6 (2) | 445.8 (35) | 3.78 (8)   |
| GALL - CERDO                     | 202.1 (2) | 758.3 (35) | 5.38 (24)  |
| GALL - BORREGO                   | 212.6 (2) | 681.3 (35) | 4.73 (24)  |
| X del tiempo de retención (días) | 2.8       | 35         | 16.6       |

| C (gr) | N (gr) | P (gr) | Volúmen (l) |
|--------|--------|--------|-------------|
| 3.39   | 9.67   | 0.228  | 15.9        |
| 3.60   | 16.39  | 0.068  | 16.9        |
| 2.94   | 6.29   | 0.053  | 14.1        |
| 3.31   | 12.44  | 0.088  | 16.4        |
| 3.36   | 10.76  | 0.075  | 15.8        |

SEGUNDO EXPERIMENTO

| TRATAMIENTOS                     | C (mg/l)   | N (mg/l)    | P (mg/l)   |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|
| CERDO                            | 201.4 (1)  | 683.3 (25)  | 25.5 (32)  |
| GALLINA                          | 199.1 (16) | 1357.7 (25) | 6.43 (8)   |
| BORREGO                          | 196.3 (2)  | 297.3 (16)  | 11.22 (32) |
| GALL - CERDO                     | 185.1 (4)  | 1146.7 (25) | 9.45 (8)   |
| GALL - BORREGO                   | 206.1 (16) | 881.9 (16)  | 7.76 (8)   |
| X del tiempo de retención (días) | 7.8        | 21.4        | 12.6       |

| C (gr) | N (gr) | P (gr) | Volúmen (l) |
|--------|--------|--------|-------------|
| 3.58   | 12.22  | 0.454  | 17.8        |
| 3.54   | 24.17  | 0.114  | 17.8        |
| 3.10   | 4.70   | 0.177  | 15.8        |
| 3.39   | 20.98  | 0.173  | 16.3        |
| 3.42   | 14.64  | 0.129  | 16.6        |

Nota: Las cifras en paréntesis corresponden al día en que se registraron.

clara de la temperatura sobre el tiempo de retención. Esto mismo fué demostrado por algunos autores como Maly y Fadrus (1971), Pfeffer (1974), Taiganides (1977) y Kelly y Switzenbaum (1984), quienes también encontraron esta misma relación, ya que el incremento de la temperatura aumenta la tasa de descomposición de la materia orgánica, disminuyendo en consecuencia el tiempo en que se realiza tal efecto. Por otro lado, comparando los tiempos óptimos de retención registrados por Vázquez (1986) en los digestores de la granja de Tezontepec de Aldama, Hgo., fueron similares para el caso del nitrógeno (15 a 20 días), mientras que para el fósforo el tiempo de retención óptimo fué de 126 días, valor que supera hasta en 10 veces el tiempo determinado en este trabajo. Clifford (1984) encontró que a mayor tiempo de retención, mayores concentraciones de compuestos resultantes de la descomposición, esto es aplicable principalmente para digestores continuos como los de Tezontepec, ya que como en este caso, en donde se manejaron digestores discontinuos (de una sola carga), los procesos microbiológicos que se suscitan en los digestores, tienden a consumir e inmovilizar compuestos como el amonio y el fósforo, que son fuente de alimento para los mismos, impidiendo así la acumulación.

De manera general, de los tres nutrimentos manejados, solo el carbono fué el único que no se consideró limitante para la producción primaria; Margalef (1977), señala que para este elemento existe una mayor disponibilidad y diversidad en la naturaleza. Además, los resultados reportados, no representan el total en los bioabonos, sino exclusivamente la forma químicamente oxidable. En cambio el nitrógeno y el fósforo, tienen mayor limitación para la productividad primaria (Margalef, 1977). Diversos estudios han permitido a los investigadores darse cuenta de la mayor importancia que el fósforo tiene con respecto al nitrógeno y a los demás nutrimentos, ya que dada la naturaleza química y bacteriológica de los excrementos, habrá microorganismos fijadores de

nitrógeno molecular (De la Lanza, 1986, comunicación personal), por lo que su fuente tampoco se considera limitante. Además, se ha visto que la producción de fitoplancton en sistemas de policultivo es igual, cuando se utiliza un fertilizante de fórmula completa que uno que contenga únicamente fósforo (Ramos, 1977). Por esta razón, que el criterio de análisis para los diferentes tratamientos, está basado principalmente en su contenido de fósforo más que el de nitrógeno.

Existen grandes discrepancias entre diversos autores sobre cuales son las cantidades de nitrógeno y fósforo adecuadas para una óptima producción de fitoplancton. Sin embargo todos concluyen que la productividad primaria se incrementa con la acción de fertilizante (Dickman, et al., 1972). Hopher y Pruginin (1985) calcularon los requerimientos de nitrógeno y fósforo para el fitoplancton, partiendo de la producción promedio del mismo y de la proporción de N/P de Fleming (1940) y Strickland (1960), obteniendo valores aproximados de 0.18 y 0.024 g/m<sup>2</sup>/día respectivamente, mientras que en un estudio sobre productividad primaria realizado por Hall, et al., (1970), en el que se aplicaron diferentes dosis de un fertilizante comercial (N:P:K = 10:1:1) con la finalidad de ver su efecto cuantitativo sobre la producción de fitoplancton; estos autores encontraron que la dosis máxima utilizada por m<sup>2</sup>, que contenía aproximadamente 0.16 g de nitrógeno y 0.016 g de fósforo (10:1), producía una alta cantidad de fitoplancton. Dichas concentraciones comparadas con las máximas obtenidas en este trabajo son, para el nitrógeno inferiores (1.36 g/l) y para el fósforo similares (0.025 g/l)

Por otro lado, en México, en la Granja de Tezontepec de Aldama, Hgo., se realizaron estudios de policultivo en los cuales fueron probados diferentes tipos de fertilizantes con

el objeto de incrementar la producción piscícola. Los fertilizantes utilizados fueron: urea + fórmula compleja, bioabono de cerdo y de borrego (Arredondo, 1986). En el mismo lugar, Vázquez (1986) efectuó un análisis de la calidad del bioabono de cerdo de los digestores de la granja, con el objeto de ver la variación de los nutrientes durante un tiempo aproximado de 5 meses, encontrando que la máxima concentración de nitrógeno fué de 0.809 g/l a un tiempo de retención de 15 a 20 días y la de fósforo de 0.332 g/l a un tiempo de retención de 126 días.

La mejor producción piscícola, registrada en la Granja de Tezontepec de Aldama, Hgo., se obtuvo a partir del fertilizante de urea + fórmula compleja, produciendo un total de 2991.45 Kg/Ha. La concentración fué de 47% de nitrógeno (urea) y de 17:17:17 de N:P:K (fórmula compleja); las dosis se agragaron en una proporción de 0.42 g y 3.0 g de cada compuesto, lo que en general dió 0.703 g de nitrógeno y 0.51 g de fósforo por m<sup>2</sup> (Arredondo, 1986). Por otra parte, el bioabono de cerdo, que siguió en productividad con un total de 2318.6 Kg/Ha, tuvo una proporción máxima aproximada de nitrógeno y fósforo de 0.150 y 0.060 g/m<sup>2</sup> en cada dosis diaria de 0.185 l, valores que corresponden al tiempo óptimo de retención determinado por Vázquez (1986).

En la Tabla 8, se muestran, bajo un mismo volúmen (185 ml), concentraciones de nitrógeno y fósforo de los diferentes tratamientos, comparadas con las citadas por diferentes autores y las utilizadas en la Granja de Tezontepec, y que son discutidas a posterior.

Con respecto al nitrógeno se encontró una gran regularidad en todos los valores, a excepción de la urea + fórmula compleja, en la cual la concentración fué mucho mayor, mientras que para fósforo, existió una marcada variación entre -

TABLA 78. Cuadro comparativo de las cantidades de nutrimentos reportados por diferentes autores, con respecto a las encontradas en el presente trabajo.

|                                                                                                    | Fertilizante y/o referencias                    | g N/ m <sup>2</sup> / día | g P/ m <sup>2</sup> / día |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cantidades de nutrimentos máximos contenidos en 185 ml                                             | CERDO                                           | 0.127                     | 0.0047                    |
|                                                                                                    | GALLINA                                         | 0.250                     | 0.0012                    |
|                                                                                                    | BORREGO                                         | 0.055                     | 0.0021                    |
|                                                                                                    | GALLINA-CERDO                                   | 0.212                     | 0.0017                    |
|                                                                                                    | GALLINA-BORREGO                                 | 0.163                     | 0.0014                    |
| Cantidades de nutrimentos utilizados por m <sup>2</sup> en la granja de Tezontepec de Aldama, Hgo. | Bioabono de Cerdo (185ml) (Vázquez, 1986)       | 0.150                     | 0.060                     |
|                                                                                                    | Urea + Formula compl. (0.42g+3g;Arredondo,1986) | 0.703                     | 0.510                     |
| Cantidad de nutrimentos por m <sup>2</sup> reportados por otros autores                            | Hepher y Prugini,(1985)                         | 0.180                     | 0.024                     |
|                                                                                                    | Hall, et al., (1970)                            | 0.160                     | 0.016                     |

los diferentes autores. lo cual es justificable por el origen de cada fertilizante.

Especialmente en el fósforo, se observa claramente (Tablas 8 y 9) que las cantidades producidas por cada 185 ml, (cantidad comparativa a la aplicada por m<sup>2</sup> a los estanques de Tezontepec) de los diferentes tratamientos, resultan ser marcadamente inferiores a los reportados por los diferentes autores. El máximo de fósforo obtenido de 0.0047 g/185 ml, en el tratamiento de cerdo, resultó ser 3.4 veces menor que el reportado por Hall, et al., (1970) y 12.8 veces menor que el fósforo encontrado en el mismo volumen de bioabono de cerdo de los digestores de Tezontepec (Tabla 9).

Tanto los registros de Vázquez (1986) como los calculados en el presente estudio fueron manejados con el mismo tipo de excremento, estos tuvieron una gran diferencia en la producción de nutrimentos. Vázquez (1986), señala que la alta concentración de fósforo encontrada en los digestores de Tezontepec, fué debida a que los digestores eran de tipo continuo y que la constante adición de material fresco, permitió que con el tiempo, el fósforo se fuera acumulando en el mismo digestor, lo que provocó el incremento en la concentración del mismo. Cabe mencionar que en el momento en que se inició el estudio de dichos digestores, estos estaban ya en funcionamiento, lo cual impidió que se apreciara desde sus inicios el comportamiento de este elemento.

En base a lo anterior y para aprovechar el nivel nutricional de estos bioabonos, sería necesario adicionar un volumen suficiente de cada uno para compensar así las deficiencias de cada nutriente. Manejando cada tratamiento independientemente y basandose en la deficiencia proporcional de fósforo de cada uno, se pueden calcular los volúmenes de bioabono que se deban adicionar a cada m<sup>2</sup> de superficie de agua,

- Tabla. 9. Cuadro comparativo del volumen requerido de bioabono para compensar los requerimientos de fósforo

Con respecto a Hall, (1970).

| TRATAMIENTO  | Deficiencia prop. de P (# de vec.) | (ml) Volumen requerido | Concentrac. de N en el vol corr. g/m <sup>2</sup> |
|--------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| CEFRDO       | 3.4                                | 0.629                  | 0.432                                             |
| GALLINA      | 13.3                               | 2.46                   | 3.324                                             |
| BORREGO      | 7.6                                | 1.406                  | 0.418                                             |
| GALL-CEFRDO  | 9.4                                | 1.739                  | 1.993                                             |
| GALL-BORREGO | 11.4                               | 2.109                  | 1.858                                             |

(Con respecto al bioabono de Cerdo (Vázquez, 1986).

| TRATAMIENTO  | Deficiencia prop. de P (# de vec.) | (ml) Volumen requerido | Concentrac. de N en el vol corr. g/m <sup>2</sup> |
|--------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| CERDO        | 12.8                               | 2.368                  | 1.63                                              |
| GALLINA      | 50.0                               | 9.683                  | 13.09                                             |
| BORREGO      | 28.6                               | 7.08                   | 2.10                                              |
| GALL-CERDO   | 35.3                               | 7.841                  | 9.00                                              |
| GALL-BORREGO | 42.9                               | 9.387                  | 3.27                                              |

| TRATAMIENTO  | Deficiencia prop. de P (# de vec.) | (ml) Volumen requerido | Concentrac. de N en el vol corr. g/m <sup>2</sup> |
|--------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| CERDO        | 108.5                              | 20.1                   | 13.3                                              |
| GALLINA      | 425.0                              | 78.6                   | 106.2                                             |
| BORREGO      | 242.9                              | 44.9                   | 13.35                                             |
| GALL-CERDO   | 300.0                              | 55.5                   | 63.6                                              |
| GALL-BORREGO | 364.3                              | 67.4                   | 59.4                                              |

según lo señalado por los diferentes autores. En la Tabla 9 se observa que en aquellos bioabonos como el de cerdo, que tuvo una menor deficiencia de fósforo, es requerido un menor volumen (629 a 738 ml para dar entre 0.016 y 0.020 g de fósforo), mientras que en otros como los de gallinaza y borregaza son necesarios volúmenes bastante mayores (2460 a 3080 ml para gallina y 1410 a 1760 ml para borrego). Sin embargo en la misma Tabla, son mostradas también las concentraciones de nitrógeno en dichos volúmenes, los cuales en algunos casos como la gallinaza, alcanzan valores tan altos (3.32 y 4.17 g/l) que sobrepasan el nivel de toxicidad de amonio para los peces (Fry, 1974), aunque en otros casos como en cerdo y borrego los niveles de nitrógeno se mantienen dentro del límite superior aceptable, encontrado en las dosis de urea + fórmula compleja, utilizadas en los estanques de Tezontepec.

Dependiendo del volumen de bioabono que sea requerido para obtener las cantidades apropiadas de cada nutriente, sería la variación en la cantidad de excremento inicial y su carga de dilución. En el caso de la gallinaza y la cerdaza, que presentaron una alta capacidad de lixiviación, implicaría un mayor rendimiento para ambos excrementos, sin embargo esto no se vió reflejado en la obtención de nutrientes, ya que como en el caso particular de la gallinaza, aunque mucha de su masa se lixivió, esta contenía muy poco fósforo, pero sí una gran cantidad de nitrógeno, por lo que esto se le atribuye más a la naturaleza del mismo estiércol que a su capacidad de lixiviación. En cambio, en el tratamiento de cerdo, el cual tuvo la más alta producción de fósforo, se caracterizó también por tener un alto grado de lixiviación (Tabla 6).

Para el caso del bioabono de borrego, el cual registró el menor porcentaje de masa lixiviada (Tabla 6), pudo ser la

causa de que el bioabono tuviera grandes deficiencias en ambos nutrimentos (N/P), haciendo necesario aumentar el volumen de bioabono para cubrir los requerimientos nutricionales, lo que en consecuencia implicaría la utilización de mayor cantidad de estiercol. A pesar de esto, se vió que por unidad de peso lixiviado, el de borrego tuvo la más alta producción de fósforo (Tabla 10) sin embargo este estiercol resulta poco rentable, a menos que se tuviera la alternativa de utilizarlo como material para incrementar el porcentaje de sólidos, en los casos que fuera necesario.

Para evitar el problema que implica el dosificar bioabonos obtenidos de digestores preparados bajo las mismas condiciones técnicas que se dieron en este estudio, se recomienda tomar en cuenta el rendimiento en nutrientes de cada estiercol, para que de esta manera se pueda determinar cual o cuales de ellos y en que cantidades por unidad de volumen, se necesiten para reunir los requerimientos de nutrientes.

En la Tabla 11 se muestra de forma global, los rendimientos de cada tratamiento expresados en mg/g de material seco, donde se observa que el excremento con máximo rendimiento de nitrógeno correspondió a la gallinaza bajo condiciones mesofílicas, con un valor de 16.11 mg/g y para el fósforo, el tratamiento de cerdo bajo las mismas condiciones con un valor de 0.303 mg/g.

Según esto sería adecuado combinar ambos excrementos para dar un máximo rendimiento en ambos nutrimentos; sin embargo, cada excremento produce el nutrimento complementario, pero en menores proporciones. Tal es el caso que se sucitaría al utilizar la cerdaza y gallinaza combinados. Para reunir 0.016 g de fósforo, según lo indicado por Hall, et al., (1970), serían necesarios 52.8 g de estiercol seco de cerdo, cantidad que a su vez contiene 0.43 g de nitrógeno, lo cual sobrepasa a la recomendada por el mismo autor (0.16 g), aun-

Tabla 10 Promedios de la cantidad de nutrimentos producidos por unidad de peso lixiviado. (1 Kg ).

A. Primer experimento

|           | gr C  | gr N  | gr P  |
|-----------|-------|-------|-------|
| Cerdo     | 5.86  | 19.25 | 0.453 |
| Gallina   | 3.92  | 19.83 | 0.027 |
| Borrego   | 36.07 | 78.90 | 0.359 |
| Gall-Cer  | 5.18  | 20.57 | 0.049 |
| Gall-Borr | 7.40  | 27.18 | 0.118 |

B. Segundo experimento

|           | gr C  | gr N  | gr P    |
|-----------|-------|-------|---------|
| Cerdo     | 3.33  | 10.15 | 0.420   |
| Gallina   | 2.99  | 13.80 | 0.024   |
| Borrego   | 72.13 | 6.19  | 0.682 * |
| Gall-Cer  | 2.99  | 10.45 | 0.014   |
| Gall-Borr | 3.97  | 9.94  | 0.027   |

Tabla 11. Cantidades de nutrimentos máximos obtenidos por unidad de peso de material usado (1500 g) expresado en mg/g

Primer experimento

|           | C    | N     | P     |
|-----------|------|-------|-------|
| Cerdo     | 2.26 | 6.45  | 0.152 |
| Gallina   | 2.40 | 10.93 | 0.045 |
| Borrego   | 1.96 | 4.19  | 0.035 |
| Gall-Cer  | 2.21 | 8.29  | 0.059 |
| Gall-Borr | 2.24 | 7.17  | 0.05  |

Segundo experimento

|           | C    | N     | P     |
|-----------|------|-------|-------|
| Cerdo     | 2.39 | 8.15  | 0.303 |
| Gallina   | 2.36 | 16.11 | 0.076 |
| Borrego   | 2.07 | 3.13  | 0.118 |
| Gall-Cer  | 2.26 | 13.99 | 0.115 |
| Gall-Borr | 2.28 | 9.75  | 0.026 |

que se encuentra dentro del límite de las referencias citadas, quedando por demás el uso del estiercol de gallina, - así entonces, es recomendable el uso del estiercol de cerdo en una proporción de 52.8 a 79.2 g por litro, para ser fermentado en digestores sujetos a temperaturas mesófilas, de donde se obtendrán entre 0.016 a 0.24 g de fósforo y 0.43 a 0.65 g de nitrógeno, con un porcentaje de sólidos de 5.3 a 8%, recomendable para una adecuada digestión.

#### 6.5. Análisis estadístico.

El objetivo de aplicar el análisis de varianza, fué el de corroborar estadísticamente las diferencias de los tratamientos (Reyes, 1982), algunas de las cuales se apreciaron con la simple observación de los resultados.

Según los resultados obtenidos y de manera global, las diferencias altamente significativas encontradas en el potencial de hidrógeno, conductividad, amonio, ortofosfatos y  $\text{CO}_2$  metabolizable, demostró la naturaleza evidentemente distinta de cada excremento.

## VII. CONCLUSIONES.

1) Dadas las características de variación de los parámetros estudiados fué obvia la influencia del factor temperatura sobre los procesos de descomposición, observandose - una condición criofílica y mesofílica. La mayor velocidad de descomposición se registró bajo ésta última, ya que se alcanzaron pH's más ácidos, mayor rapidez de aumento en la conductividad, así como mayores contenidos de amonio y fósforo.

2) Dentro de los digestores se estableció una condición netamente reductiva a partir del cuarto día en el experimento criofílico y a los dos días en el experimento mesofílico, asociado a los niveles de aparición y desaparición de los nitratos y nitritos así como la dominancia del amonio.

3) La gallinaza fué la excreta que registró la máxima concentración de amonio (N), debido a que ésta se caracteriza por tener altos contenidos de compuestos nitrogenados, - precisamente por su forma de excreción conjunta de heces y orina. Por otra parte, la cerdaza fué la excreta que presentó la producción máxima de ortofosfatos (P), esto ocasionado por el tipo de alimentación y asimilación de dicho elemento por parte de estos animales, lo cual provoca que gran parte del fósforo permanezca en el mismo estiercol. Estadísticamente, los excrementos manejados difieren totalmente entre sí debido a la diferente naturaleza de origen de cada uno.

4) El tiempo de retención óptimo para el nitrógeno fué de 35 y 21 días (con 970 a 1358 mg/l para el experimento - criofílico y mesofílico respectivamente), mientras que para el fósforo fué de 17 y 13 días (con 14.3 y 25.5 respectivamente), disminuyendo para ambos casos cuando la temperatura

se incrementa.

5) A pesar de la diferente naturaleza de los excrementos, no varió la liberación y consumo de los compuestos carbonados por parte de la comunidad microbiana, ya que el  $\text{CO}_2$  metabolizable ofreció una relativa homogeneidad en su evolución, en todos los tratamientos.

6) Valores bajos de C/N en los materiales a degradar, determinan un bajo contenido de carbono para las bacterias, pero se considera adecuado cuando se requiere de un suplemento suficiente de nitrógeno, por lo que la gallinaza, en la cual se registró los valores mínimos de C/N (0.2 :1 y 0.1 :1 para el experimento criofílico y mesofílico respectivamente), se considera la mejor para fines fertilizantes. Por otro lado, los valores bajos de N/P, precisan un suplemento de fósforo mayor, por lo que los tratamientos de cerdo y burrego, que son los que ofrecen la mejor proporción de N/P - (30:1 y 9:1 en el experimento mesófilo), se estiman apropiados para ser utilizados como fertilizantes portadores de fósforo.

7) Las proporciones de C/N y N/P determinadas en el bioabono líquido fueron de 0.2:1 y 62:1 en el experimento criofílico y de 0.1:1 y 44:1 en el mesofílico, respectivamente, los cuales son consideradas bajas cuando son comparadas con material particulado, pero adecuadas para el mantenimiento de la productividad primaria.

8) El almacenaje y desecación de los materiales utilizados, conlleva a su compactación lo que en consecuencia disminuye su rendimiento. Así, el máximo aprovechamiento por masa, medido a través de su capacidad de lixiviación (dependiente de la naturaleza física, así como la talla de partícula y disgregación), correspondió a la gallinaza, con un -

rendimiento del 60.1 al 70.3% de su masa total, mientras que la borregaza, que mostró una mayor compactación, tuvo el menor rendimiento.

9) La cantidad de fósforo presente en los excrementos, es el criterio limitante para seleccionar a los más adecuados para ser empleados como bioabonos. En lo que respecta a los demás nutrimentos (C y N), estos se presentan en formas más variadas, lo que hace a estos menos relevantes. En consecuencia se recomienda la utilización única de estiércol seco de cerdo en una proporción de 52.8 a 79.2 g por litro, con un porcentaje de sólidos correspondiente de 5.3 y 8%, - para ser fermentados en digestores discontinuos sujetos a - temperaturas mesófilas (26°C), con lo que obtendría, en un - lapso de 13 días, un bioabono que contenga entre 0.016 a - 0.024 g/l de fósforo y 0.43 a 0.65 g/l de nitrógeno, cantidades apropiadas para ser usadas como fertilizante en estanques de policultivos para productores primarios.

10) Es importante considerar que la manipulación, alimentación y características técnicas en la obtención de los bioabonos, afecta ostensiblemente la calidad de los mismos.

## VIII. LITERATURA CITADA.

- Alexander, M. (1977). Introduction to Soil Microbiology. Wiley. New York. 136-141 p.
- Allen, S. E.; H. M. Grimshaw; S. A. Parkinson y C. Quarmby. (1974). Chemical Analysis of Ecological Materials. Ed. Blackwell Scientific Publications. England. 565 p.
- Anónimo (1983). Digestores. Dirección General de Acuacultura. Subsecretaría de Fomento Pesquero. Secretaría de Pesca. México. (inédito). 39 p.
- Arredondo, F. J. L. y J. E. Juárez P. (1985). La Granja Integral de Policultivo de Tezontepac de Aldama Hidalgo: Un modelo para avanzar hacia el desarrollo rural integral. Rev. Lat. Acuí. Lima-Perú. (24):31-44 p.
- Arredondo, F. J. L. (1986). Análisis del Comportamiento Limnológico de un Policultivo Experimental de Ciprínidos, utilizando tres tipos de fertilizantes. Tesis Doctoral. C.C.H.- I.C.H.L., Univ. Nat. Aut. Mex. (En preparación).
- Aubart, C. y F. Bully (1984). Anaerobic Digestion of Rabbit Wastes and Pig Manure Mixed with Rabbit Wastes in various Experimental Conditions. Agric. Wastes. 10(1984):1-13 p.
- Bequedano, M. M.; M. A. Young y H. L. Morales (1979). Los digestores: Energía y Fertilizantes para el Desarrollo Rural. Cuadernos de divulgación. Inst. Nat. Inves. Rec. Eiot. (7):29 p.
- Blanchard, J. P. y T. A. Grill (1984). Suspended Particle Filled Biomass Anaerobic Digesters for Livestock Waste. Transactions of the ASAE. 27(2): 535-540 p.

- Bousfield, S.; N. Hobson y R. Summers (1979). Note on Anaerobic Digestion of Cattle and Poultry Wastes. Agri. Wastes. Applied Science Publishers LTD. England. 1(1979); 161-164 p.
- Boyd, C. E. (1979). Water Quality in Warmwater Fish Pond. Craftmaster Printers, Inc.. Alabama, U.S.A. 359 p.
- Carlberg, R. S. (1972). New Baltic Manual with Methods for Sampling and Analysis of Physical Chemical and Biological Parameters. Cooperative Research Report. International Council for the Exploration of the Sea. Charlottenlund slot; Dk-2920, Charlottenlund, Denmark. 145 p.
- Clifford, H.; D. A. Andrews y I. H. Ryther (1984). Nitrogen Recycling and Methane Production Using *Gracilaria tikvahiae*: A closed system approach. Resources and conservation. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. 10(1984):303-313 p.
- Cochran, W. G. y G. M. Cox (1970). Diseños Experimentales. Interamericana. México. 560 p.
- De la Lanza, E. G. (1986). Química de la Fase Sedimentaria en Lagunas Costeras. "Ira. Reunión Alejandro Villalobos." Publicaciones Especiales del Instituto de Biología, - Univ. Nal. Auton. Mex. (en prensa).
- Dickman, M. y I. E. Efford (1972). Some effects of Artificial Fertilization on Enclosed Plankton Populations in Marion Lake, British Columbia. J. Fish. Res. Bd.. Canadá. 29: 1595-1604 p.
- Duursman, E. K. y R. Dawson (1981). Marine Organic Chemistry: Evolutions, Compositions, Interactions and Chemistry of Organic Matter in Seawater. Ed. Elsevier-Oceanogra-

phy. serie 31: 521 p.

- Entz, B.** (1980). Physical & Chemical Microstratifications in the Shallow Lake Balaton and their possible Biotic and Abiotic Aspect. In: Dokulil, M.; H. Metz and D. Jewelson (Eds). Sallow Lakes contributions to their Limnology. Symposium held at Illmitz, Austria. Developments in Hydrobiology. Netherlands. 3: 63-72 p.
- Fry, L.** (1974). Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. (Eds: Richard Merrill and Merrill. Sta. Barbara, Cal. U.S.A.. 47 p.
- Gerritse, R. G. and R. Vrieseema** (1984). Phosphate Distribution in Animal Waste Slurries. J. Agric. Sci., Camb. - Great Britain. (102):159-161 p.
- Golterman, H. L.; R. S. Clymo and M. A. M. Ohntad** (1978). - Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London. Edinburgh Melbourne. U.S.A.. 2da. Edition. 213 p.
- González, F. F.** (1985). Importancia Ecológica de la Materia Orgánica y su Biodegradación en el Estero "El Verde", Sinaloa, Mex. Tesis Doctoral. UACPP-CCH, U.N.A.M.. 171 p.
- González, M. S. Y C. Marmolejo R.** (1984). Tratamiento de las Aguas de Desecho de la Industria Mixtamalizadora en el Reactor Anaeróbico Empacado. Informe del Proyecto 2315 del Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.. 98 p.
- Granados, M. C. y L. F. Buckle** (1984). Cultivo de las Microalgas *Monochrysis lutheri* y *Skeletonema costatum* con Nutrientes Producidos por Estiercoles Digeridos. An. -- Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Auton. Mex. 11(1): 241-256 p.

- Hall, D. J.; W. E. Cooper and Werner (1970). An Experimental Approach to the Production Dynamics and Structure of -- Freshwater Animal Comunites. Limnology and Oceanography. (15): 839-928 p.
- Hawkes, D.; R. Horton and D. A. Stafford (1978). The Use of Anaerobic Digestion for the Tratment and Recycling of -- Organic Wastes. Conservation and Recycling. Pergamon - Press, LTD. Great Britain. 2(2): 181-195 p.
- Hepher B. and Y. Pruginin (1985). Cultivo de Peces Comercia- les: Basado en las experiencias de las granjas piscíco- las en Israel. Ed. Limusa. México. 316 p.
- Hobson, P. N. (1973). The Bacteriology of Anaerobic Sewage - Digestion. Process Biochemistry. U.S.A.. 8(1): 19-25 p.
- Horton, R. and Hawkes D. (1976). The Energy and Fertilizer - Potential of Natural Organic Waste. Institute of Fuel, South Wales and West of England section, Energy World. 3-7 p.
- Itmavirta, V. (1980). Phytoplankton in 35 Finnish Brown-Wa- ter Lakes of Diferent Trophic Status. In: Dokulil, M.; H. Metz and D. Jewelson (Eds). Sallow Lakes Contribu- - tions to their Limnology. Simposium held at Illmitz, - Austria. Developments in Hidrobiology. Netherlands. 3: 121-130 p.
- Juárez, P. R. (1982). La Piscicultura en la República Popu- lar de China: Informe de las experiencias adquiridas en la Republica Popular de China durante la visita oficial efectuada del 4 de Agosto al 1ro. de Octubre de 1979. - Secretaría de Pesca. México. 105 p.

- Kelly, C. R. and Switzenbaum (1984). Anaerobic Treatment: Temperature and Nutrient Effects. Agricultural Wastes. 10(-1984): 135-154 p.
- Laguna, J. (1967). Biogímica. Ed. Prensa Médica Mexicana. - México. 785 p.
- Lehman, V. and A. Wellinger (1981). Biogas Production from Full-Scale of Digesters. In: Energy and Conservation and Use of Renewable Energetics in the Bio-Industries. Voigt, F. (Ed). Pergamon press. 353-363 p.
- Lehninger, L. A. (1977). Biogímica: Las bases moleculares de la estructura y función celular. Ed. Omega. España. 887 p.
- Lieth, H. and H. Wittaker R. (1975). Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, New York Inc. 2-15 p.
- Maldonado, O. J. (1980). Instalación de un Digestor a nivel de Laboratorio. In: Curso Teórico Práctico sobre Energía Solar y sus Colaterales, Eólica y Biomasa, 1980. SAROP. DIGAASES. (inédito).
- Maly, I. and H. Fadrus (1971). Influence of Temperature on - Anaerobic Digestion. Journal W. P. C. F. Brno, Czechoslovakia. April 1971). 43(4): 641-650 p.
- Mandujano, A. M. I. (1979). Evaluación de Mezclas de Estiercol Bovino y Esquilmos Vegetales para Obtención de Biogás. Inst. Invest. Electr., Cuernavaca, Morelos, Mex. - II Encuentro Internacional sobre Fuentes Alternativas - de Energía. Morelia, Mich. 1979. 12 p.

- Mandujano, M. I. (1980). Bioqas: Energía y Fertilizantes a partir de Desechos Orgánicos. CLADE. Publicación Especial. (6): 41 p.
- Margalef, R. (1977). Ecología. Ed. Omega. España. 951 p.
- Martínez, T. Z. y J. O. Abrejo (1984). Modelo Mexicano de Policultivo: Una Alternativa de Desarrollo Rural. Secretaría de Pesca. México. 105 p.
- Metcalf and Eddy, Inc. (1979). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. Mc. Graw-Hill. Book Company. U.S.A. 920 p.
- National Research Council (1979). Nutrient Requirement of Domestic of Swine. National Academy of Sciences. Washington, D. C., 8a. Edition. (2): 28-29 p.
- Padua, J. (1978). Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS): oferta y condiciones para su utilización e interpretación de resultados. Cuadernos del CES. Colegio México (Ed). México. 2: 104 p.
- Parson, T. R.; K. Stephens and Takahashi. (1972). The Fertilización of Great Central Lake. I. Effect of Primary - Productions. Fishery Bulletin: vol. 70(1): 13-23 p.
- Pfeffer, I. T. (1974). Temperature Effects on Anaerobic Fermentation of Domestic Refuse. Biotechnology and Bioengineering. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A. vol. XVI - (1974): 771-787 p.
- Porrás, D. M. (1981). Biotécnica Acuicola. I: Fertilizantes Orgánicos. Univ. Auton. Edo. Mor. 17 p.

- Ramos, H. A. (1977). Fundamentos de Piscicultura Agrícola. Universidad de Caldas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnia. Sección de Piscicultura. 74 p.
- Reyes, C. P. (1982). Bioestadística Aplicada. Ed. Trillas. - México. 217 p.
- Rolz, C.; J. F. Calzada y De León R. (1984). Biogas: Principios Básicos y Aplicaciones para Latinoamérica. Inter-ciencia, 9(1): 8-20 p.
- Sasse, L. (1984). Biogas Plants: Design and Detail of Simple Biogas Plants. Deutsches Zentrum für Entwick-Lungstechnologien-Gate. In:Deutsche Gesellschaft für Technische Zusam Menarbeit (GTZ) GMBH. Federal Republic of Germany. 83 p.
- Taiganides, E. P. (1977). Bioengineering Properties of Foodlot Wastes. (Ed. by E. P. Taiganides). Applied Science Pub. London. 131-153 p.
- Teuscher, H.; R. Adler and I. P. Seaton (1982). El Suelo y su Fertilidad. CRCSA, México. 310-317 p.
- Vázquez, G. M. A. (1986). Estudio de la calidad y variación temporal del excremento de cerdo fermentado utilizado en la Granja Integral de Tezontepec de Aldama, Hgo. - Tesis de Licenciatura. E.N.E.P., Iztacala, UNAM.67 p.
- Wellinger, A. (1984). Anaerobic Digestion: A review comparison with two types of aeration systems for manure treatments and energy production on the small farm. Agricultural Wastes. England. 10(1984): 117-133 p.

Wetzel R. G. and G. E. Likens, (1979). Limnological Analysis.  
W. B. Saunders. London. 357 p.

Woaynarovich, E. and W. W. Kühnhold (1979). Report of Consul-  
tancy to Penang, Malasia: Regarding Animal Waste Manage-  
ment Problem. Work Plan Implementation (working paper).  
South China Fisheries Development and Coordinating Pro-  
gramme. Manila, Philippines; December (1979): 59 p.