



---

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E  
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR CON  
RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4-7 DÍAS PARA  
OBTENER LÍQUIDO FOLIAR**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:  
NOHEMI ARACELI PÉREZ REYES**

**ASESOR:  
ING. ANTONIO ÁNGELES ROCHA**

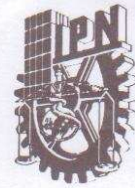




SECRETARÍA  
DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



### DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO

T-114--09

México, D. F., a 13 de Noviembre de 2009.

A la C. Pasante  
**NOHEMI ARACELI PÉREZ REYES**  
Júpiter 39  
Ensueños  
Cuautitlán Izcalli  
Edo. de México  
C.P. 54740

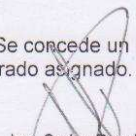
Boleta: Carrera: Generación:  
**2004320344 IQI 2003-2008**


Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que el **C. Ing. Antonio Ángeles Rocha**, sea orientador en el Tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción; **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:


**"Implementación de un biodigestor con retención hidráulica de 4-7 días para obtener líquido foliar"**


- Resumen.
- Introducción.
- I.- Historia de los biodigestores
- II.- Implementación de un biodigestor con retención hidráulica de 4-7 días
- III.- Comparación del biodigestor con retención
- IV.- Presentación y discusión de resultados
- Conclusiones
- Apéndice
- Bibliografía.

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

  
Ing. Carlos Román Román  
Presidente de Academia de  
Operaciones Unitarias

  
Ing. Antonio Ángeles Rocha  
Profesor Director u Orientador  
Ced. Prof. 21523530

  
Ing. Teresa Quevedo Saines  
Jefa del Departamento de  
Evaluación y Seguimiento Académico  
Académico

  
Ing. Miguel Ángel Álvarez Gómez  
Subdirector Académico

c. c. p.- Control Escolar.



SECRETARÍA  
DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO

T-114-10

México, D. F., a 04 de octubre del 2010.

A la C. Pasante:  
**C. NOHEMI ARACELI PÉREZ REYES**  
**PRESENTE**

Boleta:  
**2004320344**

Carrera:  
**IQI**

Generación  
**2003-2008**

Los suscritos tenemos el agrado de informar a Usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente, denominado

***"Implementación de un biodigestor con retención hidráulica de 4-7 días para obtener líquido foliar"***.

encontramos que el citado trabajo de **TESIS INDIVIDUAL** reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y **PROCEDER A SU IMPRESIÓN** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

Atentamente

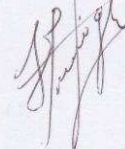
**JURADO**

  
M. en C. Rafael Xala Camacho  
**Presidente**

Ing. Antonio Ángeles Rocha  
**Vocal**



Ing. Felipe Zúñiga Esquivel  
**Secretario**



c.c.p.- Expediente

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Como una muestra de mi cariño y agradecimiento, por todo el amor y el apoyo brindado y porque hoy veo llegar a su fin una de las metas de mi vida, les agradezco la orientación que siempre me han otorgado. Gracias.

A mis hermanos como un testimonio de gratitud por haber significado la inspiración necesitada para terminar mi carrera profesional.

A mi asesor Ing. Antonio Ángeles Rocha por su infinita paciencia y ayuda en este trabajo, por sus consejos y confiar en mí.

A mis maestros con sus palabras y sabios consejos, mi trofeo es también vuestro.

A ESQIE IPN. Mi sincero agradecimiento por su enseñanza, apoyo y ayuda prestados en todo momento

# INDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Objetivos.....	3
CAPITULO I HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES.....	4
1.1 Biodigestor.....	5
1.1.1 Biodigestor por lotes o intermitente.....	6
1.1.2 Biodigestor de operación semi-continua.....	6
1.1.2.1 Biodigestor tipo hindú.....	7
1.1.2.2 Biodigestor tipo chino.....	7
1.1.2.3 Biodigestor horizontal.....	8
1.1.3 Biodigestor de operación continua.....	9
1.1.3.1 Biodigestor con tiempo de retención hidráulica de 4-7 días.....	9
1.2 Desechos orgánicos.....	9
1.2.1 Características del estiércol.....	10
1.2.2 Problema ambiental.....	12
1.2.2.1 Contaminación del agua.....	12
1.2.2.1.1 Eutroficación.....	12
1.2.2.1.2 Lixiviación.....	13
1.2.2.2 Contaminación del suelo.....	13
1.2.2.3 Generación de plagas patógenas.....	13
1.3 Productos de un Biodigestor.....	14
1.3.1 Digestión anaerobia.....	14
1.3.1.1 Microbiología de la digestión anaerobia.....	15
1.3.1.2 Bioquímica de la digestión anaerobia.....	16
1.3.2 Biogás.....	19
1.3.2.1 Propiedades del biogás.....	19
1.3.3 Fertilizante liquido foliar.....	20
1.3.4 Biomasa.....	20
CAPITULO II IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR CON RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4-7DÍAS.....	21
2.1 Construcción y montaje del Biodigestor.....	22
2.1.1 Biodigestor.....	22
2.1.2 Bomba.....	25
2.1.3 Válvulas.....	32
2.1.4 Trampa del biogás.....	32
2.1.5 Tanque de almacenamiento del biogás.....	32
2.1.6 Materiales.....	32
2.1.7 Montaje.....	33
2.1.8 Semi automatización.....	36
2.2 Operación.....	37
2.2.1 Descripción de las tres etapas de operación.....	38
2.2.1.1 Aclimatación.....	38
2.2.1.2 Régimen permanente.....	39

2.2.1.3 Obtención de los productos.....	41
2.2.1.3.1 Almacenamiento del biogás.....	41
2.2.1.3.2 Obtención de la mezcla liquido fertilizante y biomasa.....	41
2.3 Funcionamiento del Biodigestor teórica y experimental.....	41
2.3.1 Funcionamiento teórico.....	41
2.3.2 Funcionamiento experimental.....	43
2.4 Control de parámetros.....	44
2.4.1 Control de la temperatura.....	45
2.4.2 Control de la presión.....	45
2.4.3 Control de la alimentación.....	46
2.4.4 Control de la agitación.....	46
2.4.5 Control del pH.....	47
CAPITULO III COMPARACIÓN DEL BIODIGESTOR CON TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4-7 DÍAS CON LOS EXISTENTES.....	48
3.1 Requisitos para el buen funcionamiento de un Biodigestor anaerobio.....	49
3.1.1 pH y alcalinidad.....	49
3.1.2 Temperatura.....	49
3.1.3 Presión.....	50
3.1.4 Nutrientes.....	50
3.1.5 Estabilidad toxicidad e inhibición.....	50
3.2 Costos de construcción y operación del Biodigestor.....	50
3.2.1 Costos de construcción.....	50
3.2.2 Costos de operación.....	51
3.3 Costos de operación de algunos biodigestores existentes.....	54
CAPITULO IV PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
4.1 Análisis del fertilizante liquido foliar.....	59
4.1.1 Determinación de la DBO5.....	59
4.1.2 Determinación de la DQO.....	60
4.1.3 Determinación de sólidos totales y volátiles (ST y SV).....	61
4.1.4 Determinación de nitrógeno.....	61
4.1.5 Determinación de fósforo .....	62
4.2 Discusión de resultados.....	64
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	69
GLOSARIO.....	70
APENDICE .....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	81

## RESUMEN

En el presente trabajo se llevo a cabo la investigación de estabilizar una parte de los residuos sólidos pecuarios utilizando un Biodigestor anaerobio modificado en tiempo de retención hidráulica, las condiciones de operación y uso de materiales de construcción. Se dividió en 4 capítulos: en el primero se da una semblanza histórica de los biodigestores, en el segundo se describe la metodología utilizada para la investigación llevada a cabo en el tercero se presentan los resultados obtenidos durante el periodo experimental y en el cuarto se discuten se analizan y se dan recomendaciones, al final se incluyen un glosario, apéndices y bibliografía.

## INTRODUCCIÓN

La problemática en torno al medio ambiente está determinada porque el estilo de desarrollo, las pautas de comportamiento de los agentes socioeconómicos y los hábitos de consumo de la población en los países desarrollados, no son posibles para todos los habitantes del planeta. El desarrollo que se va imponiendo manifiesta una orientación hacia el denominado modelo centro-periferia, que consiste en que la población y la actividad económica tienden a concentrarse en determinadas zonas y ejes –centrales- mientras paralelamente se generan áreas vacías de población debido a su migración hacia centros urbanos con mayores oportunidades económicas y de desarrollo, la que justifica, a su vez la ausencia de inversión en el agro; los ciclos pueden continuar hasta la casi total ausencia poblacional del medio rural

El actual incremento en el volumen de residuos sólidos urbanos en el nivel nacional e internacional “falta datos de fuente de gobierno como SEMARNAT”, genera un impacto ambiental desfavorable, por lo que se hace necesaria la búsqueda de alternativas de gestión para los residuos sólidos que permitan evacuarlos favorablemente y obtener alguna utilidad. La digestión anaerobia, definida como la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluido dióxido de carbono, es una opción para el tratamiento de la fracción orgánica biodegradable, ya que con su implementación se disminuye el riesgo de generar focos infecciosos a causa de su carácter orgánico y susceptible a la biodegradación anaerobia erradicando el desarrollo de especies patógenas. Se obtienen 3 productos importantes: biogás (esencialmente el metano y dióxido de carbono en mayor porcentaje), que puede ser utilizado como fuente de energía, un fertilizante líquido y biomasa que puede utilizarse como acondicionador de suelos por sus características físicas, químicas y biológicas.

Conservar los ecosistemas, paisajes y recursos del territorio, consiste en extraer la producción de bienes y servicios sin alterar el ecosistema y considerando que la acción humana forma parte del deterioro en su mayor parte. Criterios básicos, pero no

exclusivos para ello, son conservar la biodiversidad, evitar la ruptura de la pirámide alimentaria y no superar el equilibrio de los ecosistemas. Por extensión el término conservación se aplica también a la mejora, potenciación, recuperación, rehabilitación y puesta en valor de los ecosistemas, paisajes y recursos naturales. Por eso podríamos decir que conservar significa utilizar bien.

La cría intensiva de ganado sin un adecuado manejo de los residuos generados, ha dañado la vida acuática, la salud humana y ecosistemas en todo el mundo. Mientras que inmensas explotaciones ganaderas tratan de maniobrar entre la gran cantidad de heces fecales (residuos pecuarios sólidos) con su consecuente impacto ambiental en suelo, aire y agua son inevitables. La escala de esta producción de residuos pecuarios es alarmante: 130 veces más que los desechos generados por humanos cada año hace necesario la aplicación de soluciones sustentables que minimicen esta problemática ya que erradicarla es imposible dadas las características socioeconómicas que prevalecen en el país.

La utilización de tecnologías limpias que produzcan escasos volúmenes de residuos y su valoración para convertirlos en materias primas, subproductos, o en formas de energía de otros procesos productivos mediante el establecimiento de técnicas de gestión integradas y de planificación, son algunos de los objetivos que deben perseguirse en todo lo relacionado con los residuos

Definidos como cosas, sustancias, desechos u objetos cuya disposición es de forma incontrolada.

El desarrollar nuevas fuentes de energía aunque no sea en grandes proporciones como los combustibles fósiles, se puede implementar con el uso de tecnología apropiada y económica como un Biodigestor, alternativa fija de solución de forma integral al problema de los residuos sólidos tanto urbanos como pecuarios, sustentable en un 100%.



### OBJETIVO GENERAL:

Implementar un Biodigestor que funcione con un tiempo retención hidráulica de 4-7 días para obtener, biogás, fertilizante líquido foliar y biomasa.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

Comparar el Biodigestor de retención hidráulica de 4-7 días con otros existentes como innovación tecnología.

Verificar que el Biodigestor es capaz de producir biogás en las condiciones de operación establecidas y experimentadas

Comprobar a través de pruebas de laboratorio y de campo la efectividad del fertilizante líquido y la biomasa obtenidos.

# **CAPITULO 1**

## **HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES**

## CAPITULO 1 HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES

## 1.1 BIODIGESTOR

Un Biodigestor funciona como un reactor donde ocurre la descomposición anaerobia de la materia orgánica, productos de esta descomposición son fertilizante orgánico líquido, biomasa y biogas, este último puede ser almacenado en un tanque hermético o consumido directamente, la carga o descarga se puede hacer por gravedad o por un sistema de bombeo; siendo la forma más simple de un Biodigestor, pero se le pueden adicionar otros equipos para obtener un mejor control y funcionamiento del proceso por ejemplo, termómetros, calentadores, termostatos medidores de pH, etc. los cuales se utilizarían según las necesidades y el grado de tecnificación que se quiera del proceso.

Los Biodigestores se clasifican en 3 tipos, tabla 1.1 clasificación basada, en el diseño y operación, se construyen de acuerdo al tipo de materiales y terreno disponibles pueden ser verticales u horizontales, su geometría y tamaño depende de la materia prima generada por día, la alimentación al digestor puede ser constante o intermitente.

Tabla 1.1 Clasificación de los digestores, por su forma de operación.

<b>Operación</b>	<b>Tipo de Biodigestor</b>
<b>Por lotes "Batch"</b>	<b>OLADE de Guatemala</b>
<b>Semi continua</b>	<b>Hindú Chino Horizontal</b>
<b>Continua</b>	<b>Filtros Anaerobios Etapas Múltiples</b>

### 1.1.1 Biodigestor por lotes o intermitente <sup>(1)</sup>

La carga se hace por lote, debido a dos aspectos fundamentales:

- a) la disponibilidad de la materia prima (desechos orgánicos) por procesar es periódica
- b) El uso del fertilizante orgánico líquido y sólido obtenido en épocas específicas del año. La carga en el biodigestor se programa cuando se tienen todos los desechos de las cosechas y se conjuntan con los pecuarios, la descarga se hace una o dos veces al año, un mes antes de la época de siembra.

El Biodigestor consta de un tanque hermético con una salida de gas en su parte superior conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás para su posterior uso, un problema que tiene este Biodigestor, muchos tiempos muertos, debido a lo esporádico de los desperdicios, ejemplo de este tipo de digestor es el OLADE- Guatemala. Figura 1.1

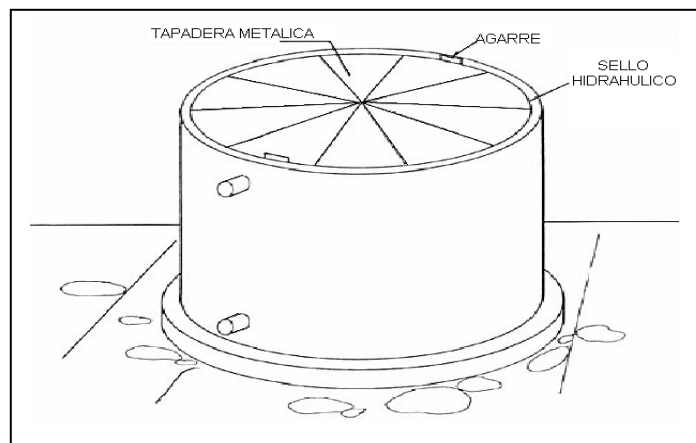


Figura 1.1 Biodigestor OLADE-Guatemala

### 1.1.2 Biodigestor de operación semi-continua

Es uno de los más usados en el medio rural. Su carga se realiza cotidiana e intermitentemente, por lo cual la producción de biogás y de bioabono es relativamente continua. Los diseños más representativos son el hindú y el chino.

1.1.2.1 Biodigestor Tipo hindú(1) figura 1.2

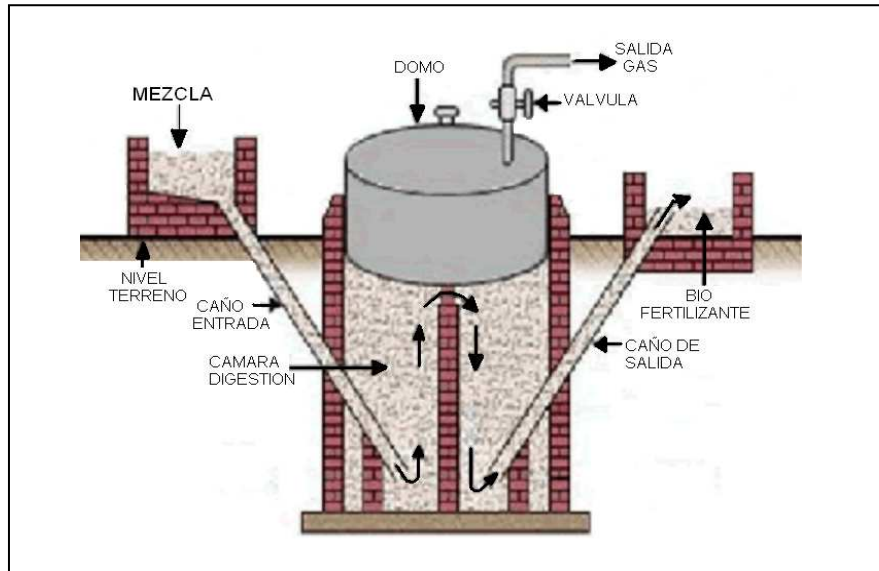


Figura 1.2 Biodigestor tipo hindú

El mas usual es el vertical y enterrado, se carga por gravedad diariamente acorde con el volumen de residuos, en función del tiempo de retención se produce una cantidad constante de biogás manteniendo las condiciones de operación.

Este digestor trabaja a presión constante y de operación fácil, ya que fue diseñado para ser manejado por personas con poca preparación en el medio rural.

1.1.2.2 Biodigestor tipo chino(1) figura 1.3

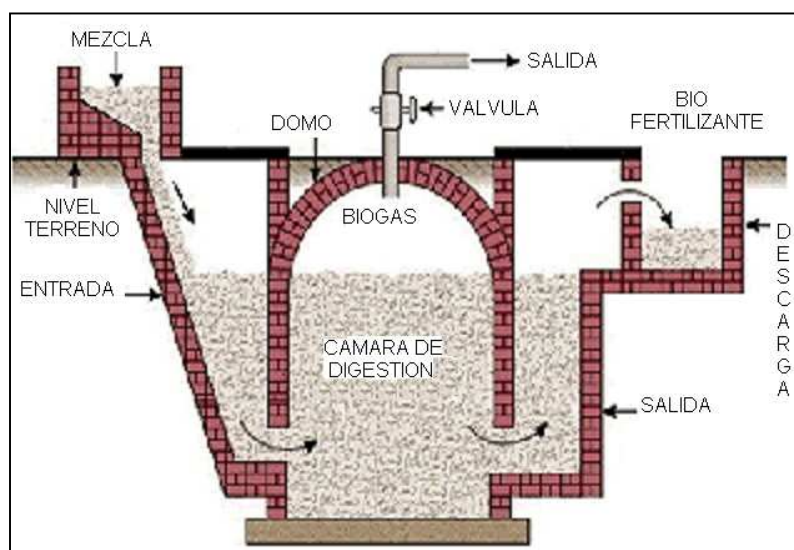


Figura 1.3 biodigestor chino

Son tanques cilíndricos con tapas semielípticas y la superior removible para la carga del digestor. Estos digestores se entierran totalmente.

El proceso se inicia con los residuos agrícolas mezclados con lodos activados de otro digestor, se alimenta diariamente con los residuos hortícolas, excretas (humanas y de ganado) la alimentación se efectúa por la parte superior lateralmente, el biogás se almacena en la parte superior del Biodigestor al no tener tanque de almacenamiento el volumen útil se ve disminuido. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegando a alcanzar presiones internas de hasta más de  $0.1 \text{ Kg/cm}^2$ .

A pesar de que demuestra tener una baja eficiencia en la producción de biogás, es excelente para la producción de bioabono, al ser los tiempos de retención hidráulica largos, y considerando que se genera una gran cantidad de fertilizante orgánico, a partir de la digestión anaerobia, dicho fertilizante mejora la tierra antes de la siembra si se aplica una o dos veces al año. El Biodigestor se vacía completamente aplicando el residuo a los campos de cultivo.

Los materiales de construcción son ladrillos, bloques prefabricados o por vaciado de concreto (ferrocemento).

### 1.1.2.3 Biodigestor horizontal<sup>(1)</sup> figura 1.4

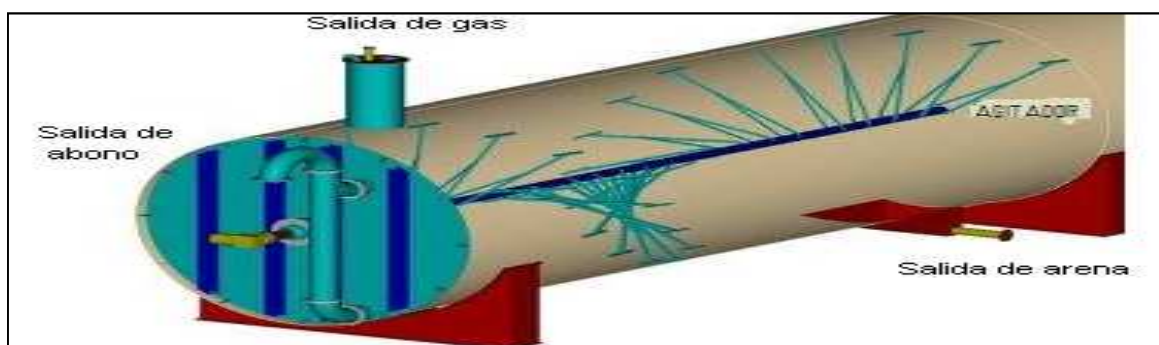


Figura 1.4 Biodigestor Horizontal

Se asemeja a un canal, se construyen enterrados y son alargados, con relación de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en "V" se opera a régimen semi-continuo entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. El biogás generado se almacena en el mismo biodigestor. Se recomienda para trabajar con volúmenes mayores de  $15 \text{ m}^3$  los cuales no se podrían manejar con biodigestores verticales por que surgirían problemas de diseño y operación.

### 1.1.3 Biodigestor de operación Continua

Estos digestores se utilizan básicamente para el tratamiento de aguas negras pero en la actualidad se comienzan a utilizar para otro tipo de sustrato a nivel industrial. En los digestores de operación continua, el proceso se controla con equipos adecuados tales como calefactores, agitadores, sistemas de bombeo etc. De esta forma se obtiene el mejor rendimiento del biogás que se puede aprovechar en aplicaciones industriales

La búsqueda de nuevas opciones para aumentar la eficiencia en la generación de biogás ha proyectado nuevas investigaciones en el tema de digestión anaerobia así, ha surgido un nuevo tipo de digestor llamados filtros biológicos anaerobios. En estos sistemas su alimentación es continua y con alta dilución (1- 1.5 % de sólidos totales). Por métodos físicos se logra retener a los microorganismos dentro del biodigestor en forma suspendida durante 20 a 30 días mientras que el líquido activo pasa a través del sistema de 1 a 5 días. Con esto se logra reducir relativamente el tamaño de la planta, disminuyendo los gastos de operación e instalación, mejorando la eficiencia en la producción de biogás.

Otros sistemas que están en desarrollo son los Biodigestores de etapas múltiples cuando los volúmenes de residuos son elevados y es necesario la optimización de su disposición y estabilización, si el diseño es adecuado se pueden aislar grupos de bacterias en cámaras separadas en condiciones óptimas para el desarrollo del tipo de microorganismos que contiene cada cámara.

#### 1.1.3.1 Biodigestor con tiempo de retención hidráulica menor

La importancia que tienen estos biodigestores es que al manipular algunas variables como temperatura, presión, carga orgánica volumétrica etc. se acelera el proceso disminuyendo el tiempo de retención hidráulica y el tamaño de los equipos y economía.

## 1.2 DESECHOS ORGÁNICOS

Son aquellos residuos cuyos componentes son lípidos, carbohidratos y proteínas. Contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) 50%, residuos pecuarios y desechos de parques, jardines, y los provenientes de actividades agrícolas (rastros). Algunos ejemplos son:

- Deyecciones sólidas (Estiércol)
- Restos de comida
- Paja, aserrín, papel
- Deyecciones líquidas (purines)
- Aguas del lavado de corrales.

La SEMARNAT estima que el Distrito federal genera 18 mil toneladas por día de RSU (residuos sólidos urbanos) de los cuales el 50% es materia orgánica (h). Con esta fracción el potencial de producción de fertilizante orgánico y biomasa es enorme; lo cual se puede ver incrementado si los mezclamos con los residuos pecuarios y agrícolas.

### 1.2.1 Características del estiércol

Cualquier estiércol es un rico material orgánico y complejo formado principalmente por:

- Celulosa: principal componente de las paredes celulares vegetales, este es un polímero cuyo peso molecular es aproximadamente de un millón. Los microorganismos convierten en una primera etapa de celulosa a celobiosa en una segunda etapa de celobiosa a glucosa la cual es absorbida o entra a la fuente de carbono soluble. Algunas bacterias pueden descomponer la celulosa anaeróbicamente
- Agua
- Variada población de microorganismos, los cuales intervienen en la descomposición del estiércol, transformándolo en bióxido de carbono, nitratos, amoniaco, metano y agua, también intervienen hongos invertebrados, larvas e insectos.
- En la tabla 1.2 se muestra la composición química de algunos estiércoles.

Tabla1.2 Composición química de excretas de diferentes animales. (7)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ESTIÉRCOLES				
ANIMAL	Humedad (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Vaca	83,2	1,67	1,08	0,56
Caballo	74,0	2,31	1,15	1,30
Oveja	64,0	3,81	1,63	1,25
llama	62,0	3,93	1,32	1,34
Cerdo	80,0	3,73	4,52	2,89
Gallina	53,0	6,11	5,21	3,20



Tabla 1.3 Estimación del consumo per cápita 1990-2005  
(Kilogramos de carne /habitante-año)

Año	Bovino	Porcino	Ave	Ovino	Caprino	Pavo	Total
1990	11.8	10.8	9.0	0.5	0.4	0.3	32.9
1991	13.8	11.6	10.3	0.7	0.5	0.5	37.4
1992	14.8	11.6	10.9	0.7	0.5	0.8	39.3
1993	13.4	11.3	12.5	0.7	0.5	0.9	39.2
1994	15.0	12.3	13.3	0.8	0.4	0.9	42.7
1995	13.5	11.5	14.7	0.5	0.4	0.9	41.6
1996	14.4	11.3	14.4	0.5	0.4	1.1	42.2
1997	15.0	11.6	16.4	0.6	0.4	1.2	45.2
1998	15.8	12.3	18.1	0.7	0.4	1.3	48.5
1999	15.7	12.6	19.2	0.7	0.4	1.3	50.0
2000	15.9	13.4	20.2	0.9	0.4	1.3	52.0
2001	16.2	13.7	21.3	0.9	0.4	1.4	53.9
2002	16.9	14.1	22.1	0.9	0.4	1.2	55.6
2003	15.6	14.4	23.6	0.8	0.4	1.5	56.3
2004	15.3	15.6	24.6	1.0	0.4	1.5	58.5
2005	15.5	15.3	26.3	0.8	0.4	1.9	60.2

Notas:

La disponibilidad per cápita de carnes se sustenta en la estimación del Consumo Nacional Aparente y las cifras de población humana definidas por el INEGI y el Consejo Nacional de Población. El término disponibilidad se considera más adecuado que el de consumo, ya que ésta cantidad no indica que sea lo que realmente es consumido por los mexicanos, ya que éste varía de acuerdo al estrato económico, las preferencias del consumidor y la edad del mismo, entre otros. Fuente: Coordinación General de Ganadería, SAGARPA.

La demanda del consumo de carne en México aumenta cada año Tabla 1.3, por lo tanto hay más animales produciendo excreta De acuerdo a raza, tipo de animal, alimentación etc. un animal produce el 8-10% de su peso vivo en excrementos y orina por día. Quiere decir que una vaca produce entre 6 y 10 Kg de estiércol al día o unos 20 m<sup>3</sup> por año. En la tabla 1.4 se observa el gran potencial de nitrógeno, fósforo y potasio contenidos en un estiércol.

Tabla 1.4 determinación de nitrógeno, fósforo, potasio.

Ganado	Cabezas nacional*	kg/día	Nitrógeno Kg/día	Fósforo Kg/día	Potasio Kg/día
Bovino	356824000	2497768000	41712725.6	26975894.4	13987500.8
Porcino	9021000	45105000	1682416.5	2038746	1303534.5
Aviar	23316000	3497400	213691.14	182214.54	111916.8

\*Fuente INEGI 2007

### 1.2.2 Problema ambiental

La cría intensiva, que produce masivamente animales al estilo “ensamblaje en serie”, ha dañado la vida acuática, la salud humana y los ecosistemas a través de todo el país. Mientras que inmensas industrias tratan de maniobrar entre la gran cantidad de residuos pecuarios que están generando, los desastres ambientales son inevitables. La escala de esta producción de residuos es alarmante: 130 veces más que los desechos generados por la actividad humana cada año.

Si no son tratados adecuadamente los residuos agropecuarios pueden generar altos niveles de contaminación afectando directamente en entorno donde son vertidos o confinados.

#### 1.2.2.1 Contaminación del agua

Esta se da por la infiltración de los lixiviados que generan los residuos pecuarios que son dispuestos al aire libre e incorporados a las corrientes superficiales y subterráneas por su paso a través de las diversas capas del subsuelo. Con los consecuentes desastres ambientales, otra forma de contaminación se da por como se disponen los residuos sólidos urbanos que es al aire libre y en tiraderos sin control.

##### 1.2.2.1.1 Eutroficación

Se debe principalmente a la aportación de nutrientes como N y P por escurrimiento en los cuerpos de agua donde las algas comienzan a proliferar en forma anormal, las cuales cubren la superficie e impiden el paso de la luz y la oxigenación del cuerpo, ocasionando la muerte de las plantas nativas, éstas se van al fondo en donde se descomponen en condiciones anaerobias. Con el transcurso del tiempo, la acumulación de sedimentos en el fondo y la alta tasa de evaporación provocada por las plantas de la superficie, genera el desecamiento del cuerpo de agua y su transformación en pantano. Algunos problemas causados por esta situación son:

- Pérdida de agua a causa de la evapotranspiración de las plantas.
- Deterioro de la calidad del agua.
- Perdida de la biodiversidad de los cuerpos de agua por el desplazamiento de las especies nativas.
- Riesgos para la salud pública por la proliferación de fauna nociva, causa potencial de enfermedades.
- Obstrucción de canales y drene en zonas de riego y tomas de plantas hidroeléctricas.
- Restricción del uso turístico. Es decir actividades recreativas y pesqueras.
- Reducción de la vida útil de los cuerpos de agua a causa del aumento de los sedimentos

Algunos tipos de maleza acuática que se desarrolla por la eutroficación son. Lirio acuático, lechuguilla, el tule y la lenteja de agua.

### 1.2.2.1.2 Lixiviación

Líquidos que se generan por la descomposición de los residuos agrícolas ganaderos y la descomposición de ciertas fracciones de los RSU. Este líquido contiene contaminantes microbiológicos convirtiéndose en contaminantes biológicos que provocan enfermedades para el humano como tifoidea, salmonelosis disentería, cólera y helmintiasis. La magnitud de este problema es tal que se estima que el 80% de todas las enfermedades gastrointestinales y un tercio de los fallecimientos en países en vías de desarrollo se debe al consumo de agua que no cumple con las normas sanitarias establecidas para su consumo.

### 1.2.2.2 Contaminación del suelo

La excreta animal es una valiosa fuente de fertilizante cuando se maneja racionalmente. Pero la cantidad producida por el confinamiento a gran escala que rebasa las necesidades nutricionales de los campos de cultivo, produce problemas en la variación del pH, la cantidad de materia orgánica no estabilizada y requerida por las especies de plantas a las que se les esta aplicando, con el devenir del tiempo causa alteraciones de los suelos, ya que es una propiedad química esencial, que determina tanto el comportamiento y la evolución de los componentes químicos de estos, representados básicamente por la vegetación, y en menor medida por la fauna edáfica

Otro asunto de cuidado es la contaminación a largo plazo del suelo con metales pesados que se agregan al alimento en la cría intensiva. Por ejemplo, el zinc y el cobre se agregan al alimento de cerdos y pollo para prevenir enfermedades y mejorar su digestión. Las plantas absorben una pequeña cantidad de estos metales, pero una cantidad significativa se acumula en los suelos cuando los estiércoles son aplicados a los mismos. Cuando los niveles son muy altos, puede atentar contra el crecimiento de las plantas

### 1.2.2.3 Generación de plagas patógenas <sup>(11)</sup>

Al no tratarse debidamente estos residuos pueden generar la reproducción masiva de fauna indeseable como ratas moscas cucarachas que son vehículos transmisores de enfermedades etc. También de microorganismos patógenos. Esto también genera contaminación del aire por el mal olor y los gases que se generan producto de la descomposición tanto aerobia como anaerobia incontrolada de los grandes volúmenes de residuos agropecuarios y de RSU no utilizados y dejados a la intemperie

---

## 1.3 PRODUCTOS DE UN BIODIGESTOR

Dado que un Biodigestor trabaja anaeróbicamente los productos que se obtienen son 3, un líquido (fertilizante rico en nutrientes), Biogás (mezcla de metano y bióxido de carbono principalmente), y Biomasa (fertilizante sólido).

### 1.3.1 Digestión anaerobia

Proceso biológico con ausencia de oxígeno usado para la estabilización de materia orgánica, con conversión a metano y productos inorgánicos incluyendo bióxido de carbono y amoníaco. Las principales etapas involucradas son 3:

#### **Fase hidrolítica**

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

#### **Fase Acidogénica**

Esta etapa la llevan a cabo bacterias acetogénicas que degradan los ácidos orgánicos de la primera fase llevándolos al grupo acético  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  con liberación de Hidrógeno y Dióxido de carbono.

Esta reacción es endotérmica pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que regula la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

#### **Fase metanogénica**

Las bacterias que intervienen en esta etapa pertenecen al grupo de las archibacterias que poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias de las etapas previas por lo cuál, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre. La transformación final en esta etapa tiene como principal substrato el ácido acético junto

a otros ácidos orgánicos de cadena corta, los productos finales obtenidos son: metano y dióxido de carbono. La reacción general es la siguiente:



### 1.3.1.1 Microbiología de la digestión anaerobia <sup>(3)</sup>

Para una mejor efectividad en la conversión de materia compleja a metano se requiere la actividad combinada de una miscelánea de población bacteriana que deben mantener una constante en número, para que haya un equilibrio en la realización de cada una de las etapas que se llevan a cabo, consistiendo en diversos géneros de bacterias anaerobias obligadas y facultativas. En el proceso están involucrados grupos tales como:

Grupo 1: Acidogenesis.- Se considera la tasa limitante de todo el proceso, aquí se fermentan polímeros orgánicos (proteínas, polisacáridos y material lípido), a compuestos de bajo peso molecular, tales como ácidos orgánicos volátiles, alcoholes, hidrógeno, bióxido de carbono, amoníaco, nitrógeno y bióxido de azufre, las bacterias de esta etapa son capaces de producir y excretar enzimas hidrolíticas (exoenzimas), habilitándolas para utilizar el alto peso molecular del material orgánico complejo a compuestos insolubles. La lignina es considerada frecuentemente la extensión de la digestión, de acuerdo con la exoenzima producida.

Las bacterias hidrolíticas aisladas de la población de la digestión anaerobia son clasificadas como lipolíticas por ejemplo: anaerovibrio lipolítica, bacterias proteolíticas por ejemplo: clostridia spp, micrococcus spp y eubacterium bacteroides, y bacterias celulolíticas por ejemplo: clostridium papirosolvens, clostridium thermocelum y peptoestreptococcus son las bacterias fermentativas determinantes en los digestores de desechos de cerdo así como las gram positivas, la población total de bacterias hidrolíticas en el intervalo mesofílico de lodos de aguas residuales aumenta de  $10^8$ - $10^9$  ml<sup>-1</sup>

Grupo 2: Acetogens. Son bacterias acetogénicas obligadas productoras de hidrógeno, degradan propionato, ácidos orgánicos volátiles de cadena larga, alcoholes aromáticos y otros productos fermentativos, produciendo acetato, hidrógeno, bióxido de carbono (de fuentes de carbono impares), por su actividad metabólica forman un grupo intermedio que es un eslabón entre las fermentativas y el estado metanogénico, para que las reacciones catabólicas de los acetogens productores de hidrógeno sean favorables desde el punto de vista termodinámico al menos para la presión parcial del hidrógeno que es extremadamente baja (debajo de  $2 \times 10^{-3}$  Y  $9 \times 10^{-5}$  atm), que es la requerida para la degradación del butirato y propionato respectivamente. Estos organismos pueden crecer sólo en presencia de hidrógeno.

De aquí que en un cococultivo de crecimiento el metabolismo del hidrógeno en los metanogens productores de hidrógeno y es el S-organismo aislado de una mezcla de metanobacilos. Los organismos catabolizan etanol y acetato a hidrógeno y metano

Grupo 3:Metanogens.- grupo de bacterias que comprenden aproximadamente el 15% de la población metanogénica, la mayoría usa bióxido de carbono para producir metano y compuestos de carbón por ejemplo hidrógeno bióxido y monóxido de carbono mezclas de metano y metilamina, debido a su habilidad para producir productos gaseosos finales reducidos a metano que escapa espontáneamente de la fase líquida, los metanogens son los organismos clave en la digestión anaerobia, proveyendo las condiciones termodinámicas para el precedente escenario no metanogénico, tienen la característica de crecer muy lentamente en un ambiente estrictamente anaerobio (potencial redox debajo de -300 mv), y la utilización de un estrecho intervalo de sustrato como fuente de energía.

Grupo 4: Son bacterias acetogénicas consumidoras de hidrógeno o bacterias homoacetogénicas, muestran un metabolismo mixotrópico,, catabolizan ambos hidrógeno y bióxido de carbono así como multicomponentes de carbono, pueden producir acetato y ácidos orgánicos volátiles de cadena larga a partir de mezclas hidrógeno-carbono, ambas están fuera de la competencia por el hidrógeno de las bacterias homoacetogénicas no es claro aún de acuerdo con Zeikus (1980), la función de las bacterias homoacéticas en el mantenimiento de bajas presiones parciales de hidrógeno, de aquí su contribución a la estabilización del proceso, al presente las bacterias homoacetogénicas conocidas pertenecen al género clostridium y acetobacterium.

### 1.3.1.2 Bioquímica de la digestión anaerobia

Entender la digestión anaerobia. Su química y su microbiología se ha extendido considerablemente en la década de los 20 del siglo pasado, basándonos en los estudios de Buswell y sus colaboradores en la división del agua en Illinois, a través de estudios a escala piloto y laboratorio de un amplio número de desechos industriales, agrícolas y de aguas municipales, se demostró la importancia de los ácidos orgánicos volátiles como intermediarios en el proceso, su trabajo condujo a un mejor entendimiento de la digestión anaerobia y dio una perspectiva del balance de masa entre la composición del sustrato y la producción de biogás la bioquímica se puede apreciar en las tablas 1.5 y 1.6.

Tabla 1.5 reacciones acetogénicas(2)

<b>Reacciones acetogénicas</b>	$\Delta G^\circ$ (KJ)
<b>Etanol y láctico</b>	
Etanol + H <sub>2</sub> O → Acetato + H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>	+9,6
Lactato <sup>-1</sup> + 2 H <sub>2</sub> O → Acetato <sup>-1</sup> + H <sup>+</sup> 2H <sub>2</sub> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-4,2
<b>Ácidos Grasos</b>	
Acetato <sup>-1</sup> + 4H <sub>2</sub> O → H <sup>+</sup> + 4H <sub>2</sub> + 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+104.6
Propianato <sup>-1</sup> + 3 H <sub>2</sub> O → Acetato <sup>-1</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup> + 3H <sub>2</sub>	+76.1
Butirato <sup>-1</sup> + 2 H <sub>2</sub> O → 2Acetato <sup>-1</sup> + H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>	+ 48.1
Valerato <sup>-1</sup> + 3 H <sub>2</sub> O → 3Acetato <sup>-1</sup> + 2H <sup>+</sup> + 4H <sub>2</sub>	+96.2
<b>Aminoácidos</b>	
Alanita + 3H <sub>2</sub> O → Acetato <sup>-1</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>	+7.5
Aspartato <sup>-1</sup> + 4H <sub>2</sub> O → Acetato <sup>-1</sup> + 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>	-14.0
Alucina + 3H <sub>2</sub> O → isovalerato <sup>-1</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>	+4.2
Glutamato <sup>-1</sup> + 4H <sub>2</sub> O → propianato <sup>-1</sup> + 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>	-5.8
Glutamato <sup>-1</sup> + 7H <sub>2</sub> O → acetato <sup>-1</sup> + 3HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 3H <sup>+</sup> + 5H <sub>2</sub>	+70.3

Tabla 1.6 Reacciones hidrogenotróficas (2)

<b>Reacciones hidrogenotróficas</b>	$\Delta G^\circ$ (KJ)
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + 4H_2O$	+104.6
$4H_2 + 4S^\circ \rightarrow 4HS^- + 4H^+$	-112
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135.6
$4H_2 + 4SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	-151.9
$4H_2 + 4\text{fumarato} + 4 \text{succinato}$	-344.6
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	-599.6
<b>Interconversión formato hidrógeno</b>	
$H_2 + HCO_3^- \rightarrow \text{Formato} + H_2O$	-1.3
<b>Metanogénesis acetoclástica</b>	
$\text{Acetato} + H_2O \rightarrow HCO_3^- + CH_4$	-31.0
<b>Metanogénesis a partir de otros sustratos</b>	
Fórmico	
$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	
Metanol	
$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	
Trimetil-amina	
$4(CH_3)_3N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$	
Dimetil-amina	
$2(CH_3)_2NH + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$	
Monometil-amina	
$4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$	



## 1.3.2 Biogás

El biogás está compuesto, fundamentalmente, por metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno Tabla 1.7. El metano representa la mayor proporción y es necesario purificarlo para su uso, pues tanto el  $\text{CO}_2(\text{g})$  como el  $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$  son componentes indeseables. Sin que por ello no sean importantes como materia prima para otros procesos. El metano una vez purificado se almacena para su posterior uso.

**TABLA 1.7 COMPOSICIÓN PROMEDIO DEL BIOGÁS<sup>(10)</sup>**

COMPONENTE	FORMULA	PORCENTAJE
• Metano	( $\text{CH}_4$ )	60 a 80 %
• Dióxido de carbono	( $\text{CO}_2$ )	20 a 40 %
• Hidrógeno	( $\text{H}_2$ )	1 a 3 %
• Oxígeno	( $\text{O}_2$ )	0.5 a 1 %
• Gases diversos	( $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	0 -1 %

## 1.3.2.1 Propiedades del biogás

El biogás es un gas combustible, incoloro e inodoro, cuya combustión produce una flama que va del color azul a ligeramente violácea según composición del biogás. Otras características se muestran en la Tabla 1.8.

TABLA 1.8. PROPIEDADES DEL BIOGAS (8).

Toxicidad	Parecido al gas natural (9)
Punto de ebullición	164 °C
Temperatura crítica	82 °C
Presión crítica	52 atmosferas
Capacidad calorífica	5000 - 5500 kcal/m <sup>3</sup> 5500 - 6500 kcal/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	0.82 (como líquido)
Densidad relativa	0.716 kg $\text{CH}_4$ / 1.23 Kg de aire
Solubilidad	20 vol. de $\text{CH}_4$ /1 vol. de $\text{H}_2\text{O}$
F. de rapidez de flama	11:1
Inflamabilidad	Mezclas de 6 a 25% de biogás en el aire.

### 1.3.3 Fertilizante liquido foliar

El fertilizante líquido es rico en macro y micronutrientes con sales minerales. su uso puede ser para cualquier tipo de cultivo (horticultura, fruticultura, floricultura, cultivos a cielo abierto, invernaderos, hidroponía) tanto para la parte foliar como para el suelo independientemente de la condición del mismo. Control biológico de plagas. Incrementa la productividad por superficie cultivada, da pie a la agricultura orgánica, minimiza el uso de agroquímicos plaguicidas y permite recuperar la fertilidad de los suelos. Con esto se mejorara de manera significativa la calidad de vida de la familia rural.

### 1.3.4 Biomasa

La biomasa en el Biodigestor es la fracción sólida que se recupera después de una sedimentación, al igual que el fertilizante liquido foliar es rico en nutrientes, se puede utilizar para regenerar suelos, la diferencia que hay entre uno y otro es que el líquido su mayor uso es para fertilizar la parte arbórea de las plantas, por lo que su valor tiende a ser menor con respecto a otros fertilizantes de la misma naturaleza.

# **CAPITULO 2**

## **IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR CON RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4-7 DÍAS**

### CAPITULO II IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR CON TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4-7 DÍAS

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de flujo del proceso completo y en los siguientes apartados se describe cada una de sus partes componentes.

Todos los cálculos realizados se presentan, algunos en sistema ingles o internacional u otros solo en sistema internacional, con finalidad de lograr su homogeneidad ya que algunas formulas del libro CRANE recomienda manejar las formulas en sistema ingles.

#### 2.1 CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL BIODIGESTOR.

##### 2.1.1 Biodigestor

Es un tanque de acero inoxidable A-306 con dimensiones diámetro 32" o 81.82 cm, altura de 26" o 66.04 cm, tapas toriesféricas, en la parte superior se tienen 3 salidas de ½ " o 1.27cm para acoplamiento, 1) salida del biogás, 2) purga de biogás cuando se presente una sobrepresión, 3) entrada de reactivos para regular las condiciones óptimas de operación válvulas v-11, v12. También se ubica una entrada de 4" o 10.16 cm para el sustrato (Alimentación). Lateralmente tiene 4 conexiones de 1" cuya función es v-1 y v-4 para recirculación a través del acoplamiento con la bomba B-1 y las otras 2 son para toma de muestra para análisis. También en la superior de la tapa tiene un termopozo que tiene como función la inserción del sensor de temperatura.

En la tapa inferior tiene una conexión de 4" o 10.16 cm cuya función es la colección del producto mezclado (fertilizante líquido y biomasa).

El tanque está montado sobre una base rectangular construida con ángulo de 2"x 2" o 5.08 cm x 5.08 cm

En la figura 2.1 se presentan las dimensiones del Biodigestor, y en la figura 2.2 las dimensiones de las tapas.

Dimensiones del tanque:

Material: acero inoxidable (306)  
Diámetro (D): 32" o 81.82 cm  
Diámetro interior (Do): 31.75" o 80.65 cm  
Altura (h): 26" o 66.04 cm  
Volumen (V): 50 litros  
Espesor de pared (t): 1/8" o 0.32 cm

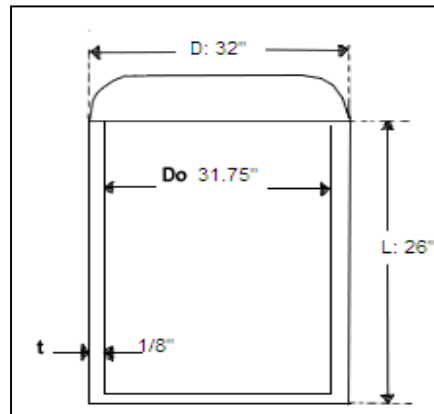


Figura 2.1 Dimensiones del Biodigestor

Dimensiones de las tapas (toriesféricas):

Material: Acero inoxidable (304)

Diámetro (D): 32" o 81.82 cm

Diámetro interior (Do): 31.75" o 80.65 cm

Espesor de pared (t): 1/8" o 0.32 cm

$r = 6\%L$

$L = Di - 6''$  o 15.24 cm

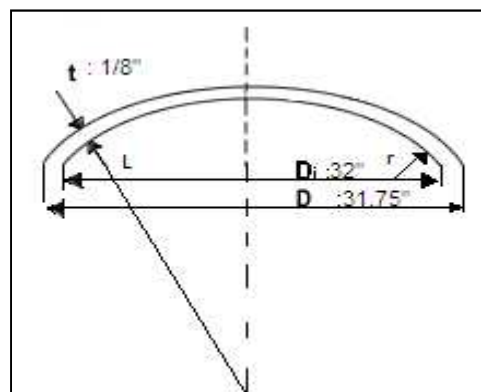
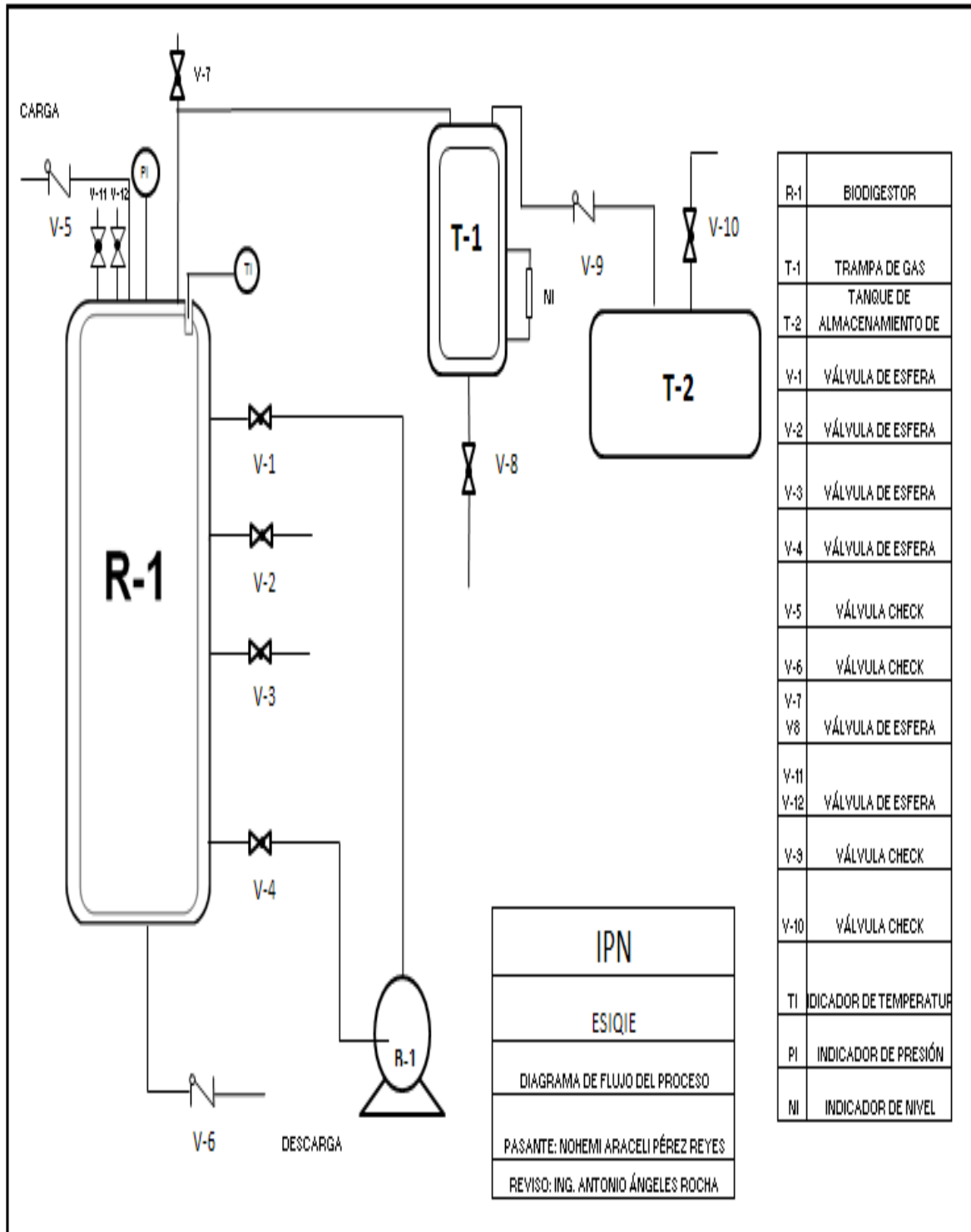


Figura 2.2 dimensiones de las tapas toriesfericas

Figura 2.3 diagrama de flujo



## 2.1.2 Bomba (B1)

Características:

Potencia --- ½ Hp

Revoluciones por minuto (RPM) – 1300

Es una bomba centrífuga para materiales semisólidos y se calculo para la función de recirculación, las adaptaciones de tubería se hicieron de acuerdo a las salidas laterales del biodigestor, succión y descarga de la bomba.

Determinación del diámetro de las tuberías:

La determinación del diámetro de tubería se hará a partir de la figura 2.4 las unidades utilizadas para los cálculos de la bomba están en el sistema ingles por el libro (CRANE) recomienda estas unidades.

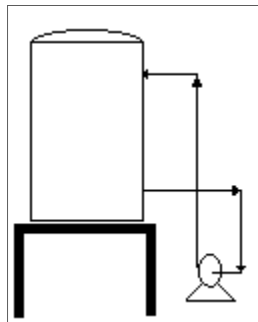


Figura 2.4 diagrama de la tubería para la bomba

Para el cálculo de la tubería se tomo en cuenta las propiedades del agua, ya que fue el fluido que se manejo para la preparación del sustrato.

Calculo de la succión de la bomba.

La línea (01) es succión de la bomba.

num. de la línea 01 Servicio Agua + materia orgánica

Información necesaria:

Fluido: Agua

Factor de diseño: 1.1

Temperatura: 77°F. o 25°C

Gravedad específica: 1

Longitud de tubería recta. 5.90 ft o 1.82 m

Cedula: 40

Gasto de operación (Gpm): 6.68 Gpm

Gasto de diseño (Gpm): 7.35 = Q

Presión (psig): 14.7.

Viscosidad (cp): 0.9

Material: Cobre, cedula 40

$\Delta p/100$ (pis): 0.1-1

Calculo del Diámetro preliminar:

**Diámetro preliminar (Dp)**

$$Dp = \sqrt{\frac{0.408 Q}{v}} \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

Q= gasto en Galones por minuto (Gpm)

v= velocidad del flujo recomendada 2-4 (ft/seg) o

Diámetro preliminar (pulg) = 0.999 pulg 2.5 cm	Diámetro comercial (pulg) = 1 pul o 2.54 cm
---	---

Fig 2.5

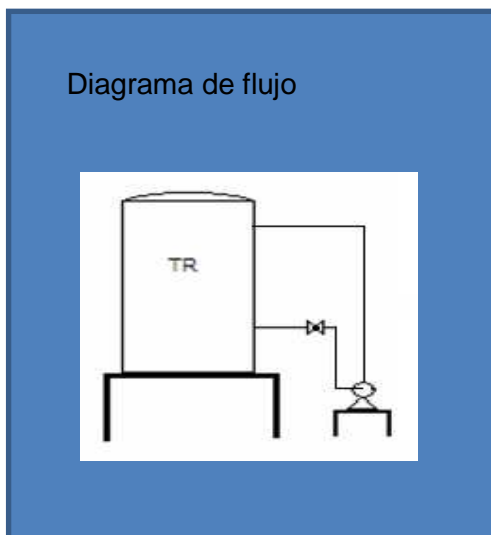


Fig. 2.6

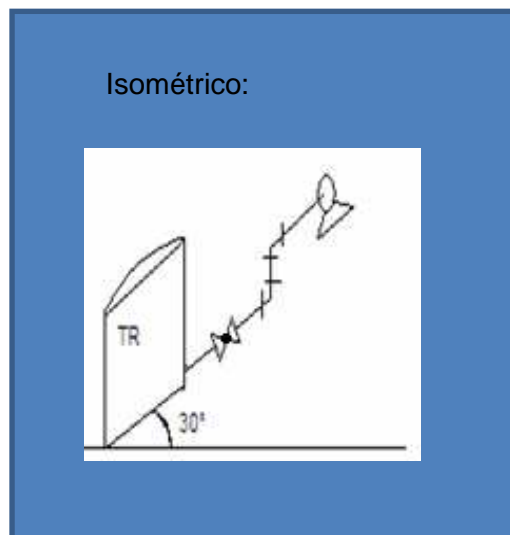


Tabla 2.1

Longitud equivalente (L/D):			
Accesorio	Cantidad	(L/D) Unidad	(L/D) Total
Válvula de esfera	1	237	237
Codo 90°	2	30	60



Formulas a utilizar:

D.N Diámetro nominal (4)

D.I. Diámetro interno (4)

**Número de Reynolds**

$$Re = 123.9 \left( \frac{D_i v \rho}{\mu} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Di = diámetro interior (pulg)

N = velocidad del flujo (ft/seg)

P = densidad (lb/ft<sup>3</sup>)

M = viscosidad (cp)

**Factor de fricción (f) se determina por grafica (4)**

**Factor de fricción de diseño (fd)**

$$Fd = (f)(1.2)$$

**Longitud total**

$$L \text{ total} = L \text{ recta} + L \text{ accesorios}$$

Delta Presión

$$\Delta P = \frac{0.000216 f d \rho L Q^2}{D_i^5} \dots\dots\dots(3)$$

Donde la formula aplica en unidades del sistema ingles recomendado por (CRANE).

Fd = factor de fricción de diseño

P = densidad Lb ft 3

L = longitud de la tubería (ft)

Q = carga en (Gpm)

Di = Diámetro interno

Tabla 2.2 resultados línea 01 (succión)

D.N. (pulg)	D.I. (pulg)	Vel (ft/seg)	Re	f	fd	ΔP/100 (psi)	L total (ft)	ΔP Tubería (psi)	ΔP Total
¾	1.05	2.7200	432.4936	0.1480	0.1776	0.0567	317.75	0.1800	0.2367
1	1.315	1.7342	345.337095	0.1853	0.2224	0.0230	396.455	0.0913	0.1143
1 ¼	1.66	1.0883	273.565229	0.2339	0.2807	0.0091	498.92	0.0453	0.0543

Ya que tenemos un criterio de  $\Delta P/100$  (psi) = 0.1 - 1 psi como se observa en la tabla tanto la tubería de ¾" o 1.9 cm. como la de 1" o 2.54 cm. cumplen el estándar. Por lo que se tomara el de 1" o 2.54 cm.

Ya tenemos el calculo de la línea 1 que es la succión de la bomba ahora se calculara la línea 02 que es la descarga de la bomba.

**CALCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.**

Lo único que cambia es la velocidad.

Núm. Línea: 02  
 Servicio: Agua + materia orgánica

Información necesaria:

Fluido: Agua  
 Gasto de operación (Gpm): 6.68  
 Factor de diseño: 1.1  
 Gasto de diseño (Gpm): 7.3 = Q  
 Temperatura (°F): 77  
 Presión (psig): 14.7  
 Gravedad específica: 1

Viscosidad (cp) 0.9  
 Longitud de tubería recta. 5.90 ft  
 Material: cobre cedula 40  
 Cedula: 40  
 $\Delta p/100$  (pis): 0.1-1  
 Velocidad recomendada para descarga 5-7 (ft/seg)

<p>Ecuación (1) Diámetro con Vel. = 5ft/seg.                  Preliminar (pulg) = 0.7744 pulg</p>	<p>Diámetro comercial (pulg) = ¾ pulg o 1.9 cm.</p>
---	---

Fig. 2.7

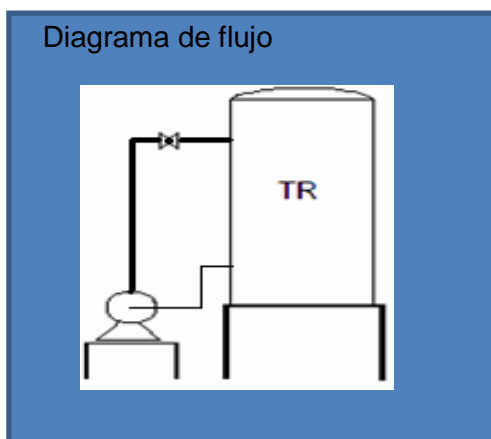


Fig.2.8

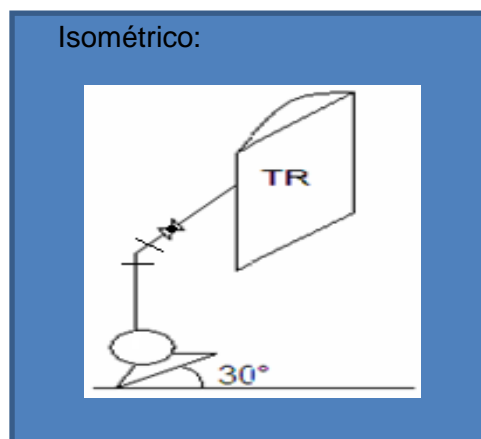


Tabla 2.3 longitud equivalente

Longitud equivalente (L/D):			
Accesorio	Cantidad	(L/D)Unidad	(L/D) Total
Válvula de esfera	1	237	237
Codo 90°	1	30	30

Tabla 2.4 resultados línea 02 utilizando las ecuaciones que se usaron para la línea 01

D.N. (pulg)	D.I. (pulg)	Vel (ft/seg)	Re	F	Fd	$\Delta P/100$ (psi)	L total (ft)	$\Delta P$ Tubería(psi)	$\Delta P$ Total
½	0.84	4.2500	540.617	0.1184	0.1421	0.1383	255.38	0.3533	0.4916
¾	1.05	2.7200	432.4936	0.1480	0.1776	0.0567	317.75	0.1800	0.2367
1	1.315	1.7342	345.337095	0.1853	0.2224	0.0230	396.455	0.0913	0.1143

Se uso tubería de 1" .

Potencia de la bomba.

La temperatura de trabajo fue de 40 °C. Para el Cálculo de la bomba se necesita la información de la tabla 2.5

TABLA 2.5 DATOS para el calculo de la bomba

Bomba: 01	Servicio: recirculación
Fluido: Agua	Temperatura:129.6 °F

Pv (psia):	0.031	Q (GPM):	6.68
G.S.	0.99	QD (GPM)	7.35
P1 (psig)	4.232	P2 (Psig)	4.232
Z1 (ft):	1.476	Z2 (ft)	3.281
Hfs (ft)	6E-04	Hfd (ft)	6E-04
DPs (Psig)	0.001	DPd (psig)	0.001

Donde:

Q = carga en GPM.

QD = carga de diseño en GPM.

Pv = presión de vapor con la temperatura de 40°C <sup>(5)</sup>

G.S. = Gravedad específica <sup>(5)</sup>

P1 y P2 = presión del Biodigestor aproximado en la operación (psia)

Z1 = altura de la tubería del Biodigestor a la bomba en la succión (ft)

Z2 = Distancia de la tubería de la bomba al Biodigestor en la descarga (ft)

DPs = Delta de presión de succión a 100 ft con una regla de tres se determina con 5.9 ft como se muestra a continuación. Si la  $\Delta P = 0.023$  (psi) en 100 ft de tubería (dato tomado de la tabla 2.2). La longitud de la tubería es de 5.9 ft por lo tanto la  $\Delta P$  o Dps es igual a:

$\Delta P$	Longitud de tubería en (ft)
0.023	100
%	5.9

$$\% = 0.001357 = \text{DPs (psi)}$$

Hfs = Dps convertido en (ft)

DPd = delta de presión de la descarga se determina con la delta de presión de longitud de la tubería de descarga a 100 ft de longitud y con una regla de tres se determinara con 6 ft como se muestra a continuación. Si la  $\Delta P = 0.023$  (psi) (dato tomado de la tabla 2.4). la longitud de la tubería es de 5.9 ft por lo tanto la  $\Delta P$  o Dps es igual a:

$\Delta P$	Longitud de tubería en (ft)
0.023	100
%	5.9

$$\% = 0.001357 = \text{DPd (psi)}$$

Hpd = DPd convertido en (ft)

DPs = Delta de presión de succión (Psig)

DPd = Delta de presión de descarga (Psig)

Tabla 2.6 resultados del cálculo de la bomba

CÁLCULOS	
MPS = $((P1-Pv)*2.31)/G.S.+Z1-hfs =$	
=11.27775176	ft
= 3.44	m
HS = $(P1*2.31)/G.S.+Z1-hfs =$	
11.3500851	ft
=3.46	m
PS = $P1+(Z1*G.S.)/2.31-DPs =$	
4.863214429	psi
=23.73	Kg/m <sup>2</sup>
HD = $(P2*2.31)/G.S.+Z2+hfd =$	
32.3993629	ft
=9.87	m
PD = $P2+(Z2+G.S.)/2.31+DPd =$	
6.082274749	Psi
=29.69	Kg/m <sup>2</sup>
HT = HD-HS =	
21.04927781	ft
=6.41	m
WHP = $(QD*G.S*HT)/3960 =$	
0.038678048	Hp
BHP = $(WHP)/\eta =$	
0.04834756	Hp

Especificación de la Bomba:	
Q (GPM) =	7.35
MPS (ft)	11.27775176
HT (ft)	21.04927781
WHP (Hp) =	0.038678048
MOTOR (Hp) =	1/2

Donde:

MPS = Área de descarga fts

HS = Altura de succión en fts

PS = Presión de succión Psi

HD = Altura de descarga en fts

PD = Presión de descarga Psi

HT = Altura total en fts

WHP = Potencia hidráulica en Hp

BHP = Potencia efectiva del motor en Hp

Q = Carga en GPM (galones por minuto)

De acuerdo con los cálculos realizados la bomba apropiada es la de 1/2 Hp.

### 2.1.3 Válvulas

Las válvulas V-1 y V-4 esfera de 1" o 2.54 cm. son para regular la recirculación. V-2 y V-3 esfera de 1" o 2.54 cm. son para toma de muestras. V-5 check de 4" o 10.16 cm. se localiza en la parte superior del biodigestor permite el paso del sustrato. V-6 válvula check de 4" o 10.16 cm. se localiza en la parte inferior del biodigestor permite la salida y acumulación de la mezcla del fertilizante líquido y biomasa. V-7 válvula de esfera de ½" o 1.27 cm. para purgar el biogás del biodigestor en caso de una sobre presión. V8 válvula de esfera de ½" o 1.27 cm. se encuentra en la parte inferior de la trampa del biogás permite la salida de los condensados que se llegasen a formar como consecuencia de la recirculación. V-9 válvula Check de ½" o 1.27 cm. se localiza en la tubería que sale de la parte superior de la trampa del biogás y antes del tanque de almacenamiento evitando el retorno del mismo. V-10 válvula de esfera ½" o 1.27 cm ubicada en la parte superior del tanque de almacenamiento permite la salida del biogás para su uso.

### 2.1.4 Trampa del biogás (T-1)

Material de construcción hierro fundido con un calibre de ¼" o 0.64 cm. antes usado para almacenamiento de refrigerante, capacidad de 20 litros, se le adaptaron 2 salidas en la parte superior ingreso y salida del bogas, en la parte inferior una salida con el acoplamiento de una válvula de esfera para drenar los condensados generados durante la recirculación y también se le adapto un medidor de nivel tipo columna de vidrio.

### 2.1.5 Tanque de Almacenamiento del Biogás. (T-2)

Tanque de almacenamiento convencional de acero al carbón, con una capacidad de 0.3 m<sup>3</sup> en la parte superior tiene una entrada para el biogás y salida del mismo, su función es acumular el biogás "puro".

### 2.1.6 Materiales

El total de materiales usados se enlista a continuación:

- Tanque de capacidad de 50 lt de Acero inoxidable (306)
  - 8 niples de cobre soldables de 45 cm. de longitud de 2.54 cm. de diámetro ced 40
  - 4 niples cobre de 25 cm. de longitud de 2.54 cm de diámetro soldables ced 40 (12)
  - 4 válvulas de esfera 2.54 cm. de diámetro soldables ced 40 A-216 Gr web 150 # RF.(12)
  - 3 codos 90° 2.54 cm. pulgada de diámetro ced 40 co bre soldables. (12)
  - 6 tuercas unión de cobre soldables 2.54 cm. de diámetro.
- Para la alimentación y descarga del Biodigestor.

- 2 niples de cobre soldables de 20 cm. de longitud de 10.16 cm. de diámetro ced 40.
- 2 válvulas Check 10.16 cm. de diámetro roscadas, de bronce.
- 1 válvula de esfera 2.54 cm. de diámetro soldable de bronce.

Materiales para la conducción del biogás y su almacenamiento.

- 2 metros de longitud de tubería de 1.27 cm. de diámetro de cobre ced 40 .(12)
- Trampa del biogás
- Tanque de almacenamiento con capacidad de 0.3 m<sup>3</sup>
- 2 válvulas de esfera de 1.27 cm. de diámetro de cobre soldables ced 40.

Materiales extras para el montaje

- Soldadura de acero inoxidable
- Equipo de autógena
- Planta para soldar eléctrica.
- Manómetro lectura en Kg/cm<sup>2</sup>.
- Calentador de cuarzo para casa habitación.
- 2 Temporizadores
- Termómetro de mercurio marca taylor con lectura en °C

### 2.1.7 Montaje

Esta se llevo a cabo una vez que al biodigestor se le hicieron las adaptaciones que se muestran en la figura 2.9.



Figura. 2.9 adaptaciones hechas al Biodigestor antes de su ensamble con los demás componentes

Una vez que se hizo el montaje del biodigestor sobre la base de ángulo se aisló usando ladrillo rojo convencional figura 2.10 para la construcción formándose un cubo el cual a su vez fue cubierto interna y externamente con una capa de material de fibra de vidrio de la usada como aislante en tubería que conduce vapor en la industria, esto se hizo con la finalidad de que una vez hecho el arranque y llevado a cabo el calentamiento con el calentador de cuarzo se mantuviera la constante de temperatura fijada para la experimentación 40 °C y minimización de perdidas térmicas por radiación. Las propiedades de ambos materiales y que sirvieron para su elección se dan en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 propiedades térmicas de los aislantes (19)

Material	Temperatura °C	Densidad $\rho$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Calor específico Cp $\frac{\text{Joules}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$	Cond. Térmica k $\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$	Difusividad. Térmica $\alpha \times 10^5$ $\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$
Ladrillo común	20	1800	840	0.38-0.52	0.028-0.034
Fibra de vidrio	20	220		0.035	

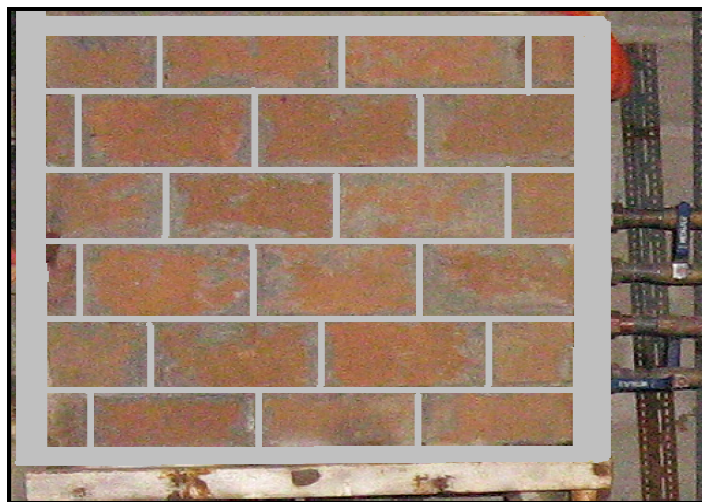


Figura. 2.10 formación del cubo con ladrillo rojo convencional.



Adaptado el tanque y montado sobre la base de ángulo, se hizo el acoplamiento de los demás componentes y accesorios utilizados, (bomba centrífuga, trampa de biogás, tanque de almacenamiento de biogás etc) figura 2.11

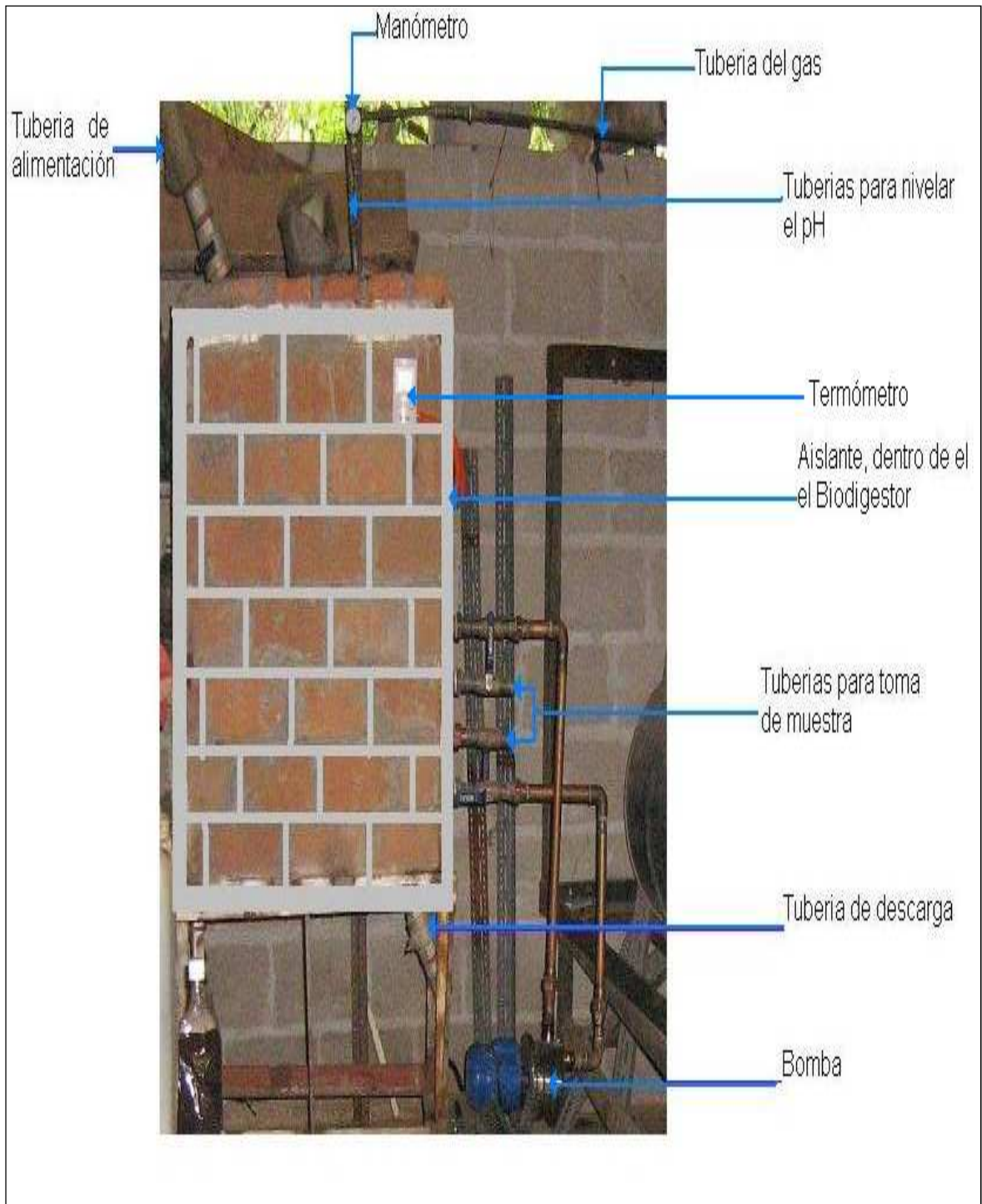


Figura. 2.11 Biodigestor y componentes usados en la experimentación.

### 2.1.8 Semi automatización

La semi automatización es porque parte del proceso se controla manualmente y la otra con instrumentos. Se utilizaron termómetros manómetros, calentador de cuarzo, timers que controlaban el calentador y la bomba.

- 2 Temporizadores o timers digitales de 8 eventos figura 2.12.



Fig. 2.12 Temporizador

#### Especificaciones técnicas del timer (13)

- Alimentación: 120 Vca 60 Hz 15 A
- Salida: 120 Vca 60 Hz 15 A
- Batería interna de respaldo
- Función de encendido y apagado aleatorio para proteger casas u oficinas vacías
- Potencia máxima soportada: 3000 W
- Dimensiones: 7 x 11,5 x 8,4 cm
- Peso: 183 g

- Un termómetro tipo Taylor que registra 2 temperaturas la interna del biodigestor y la del medio ambiente figura 2.13



Fig. 2.13 Termómetro

Especificaciones técnicas del termómetro (14)

- Alimentación: 1,5 Vcc (1 pila tipo "AAA" no incluida)
- Rango de temperatura interna: -10 - 50°C (14 - 122°F)
- Rango de temperatura externa: -50 - 70°C (-58 - 158°F)
- Resolución de temperatura: 0,1
- Exactitud de medición: + 1,5°C (+ 18°F)
- Longitud del cable con sensor: 1,8 m
- Dimensiones: 7 x 11 x 2 cm
- Pantalla: 4 x 3 cm
- Altura de los dígitos: 0,5 x 1,2 cm

## 2.2 OPERACIÓN

La Operación (6) óptima del biodigestor se logro cuando todos los parámetros involucrados trabajaron dentro de los límites de control establecidos con lo cual los productos obtenidos cumplen los estándares normativos con la oportunidad de ser comercializados una vez que probaron su efectividad a través de pruebas de campo en todo tipo de plantas y en todas las condiciones climáticas existentes a nivel nacional. Como ya se menciona la parte operativa se dividió en tres etapas arranque régimen permanente y pruebas de campo los resultados obtenidos se discuten en el siguiente capítulo.

En caso de compulsión las condiciones óptimas de operación se restablecen usando lo siguiente:

- 1) Inoculo pesado el cual sirve para restablecer las condiciones de crecimiento apropiado de cada una de las cepas microbianas involucradas en la biodegradación del sustrato alimentado sus componentes son:
  - Excreta de vaca
  - Bicarbonato de sodio
  - Carbonato de sodio
  - Agua

Las cantidades requeridas en este caso fueron 4 kg de excreta de vaca disueltos en 16 litros de H<sub>2</sub>O

- 2) Agua residual sintética que también se usa para el arranque esta sustancia se obtuvo de una experimentación previa (11). Sus componentes son:
  - Acido acético (CH<sub>3</sub>OOH) glacial
  - Carbonato de sodio
  - Bicarbonato de sodio
  - azúcar
  - Agua

## 2.2.1 Descripción de las tres etapas de operación.

### 2.2.1.1 Aclimatación.

Esta es la etapa mas importante porque de ella depende el ir logrando las condiciones de crecimiento microbiano de todas aquellas especies involucradas en la biodegradación de la materia orgánica de que esta compuesta el sustrato, el tiempo que duro esta etapa fue de 5 semanas en la primera se alimento el 95% en volumen de agua residual sintética y un 5% de sustrato durante una semana, en la siguiente se disminuyo el porcentaje de agua residual sintética en un 5% y se duplico el por ciento de sustrato es decir se alimento 90% de ARS y 10% de sustrato y así sucesivamente hasta que a la sexta semana ya se alimento el 100% de sustrato. Los parámetros de control monitoreados fueron, temperatura y pH, cada 6 horas en caso de que el pH descendiera o aumentara se le adicionaba bien acido acético glacial o hidróxido de sodio 0.1 N hasta que su valor estuviera entre 7.5-8.5. Si era la temperatura la que descendía a través de la programación del timer acoplado al calentador de cuarzo este se activaba hasta alcanzar la temperatura de 40 C tabla 2.8.

Tabla 2.8 etapas de aclimatación del biodigestor.

INOCULO	AGUA RESIDUAL SINTETICA
5%	95%
10%	90%
20%	80%
40%	60%
80%	20%

Si el tiempo de retención hidráulica lo definimos como

$$TRH = \frac{\text{Volumen util}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{lt}}{\text{dia}}$$

Donde TRH= Tiempo de retención hidráulica.

Con un volumen útil de biodigestor de 40 litros y un TRH de 4 días. El volumen a alimentar diariamente fue:

De estos diez litros se alimento la parte proporcional que se corresponda con la información de la tabla anterior. En la figura 2.14 se aprecia como se llevo a cabo la alimentación durante todo el tiempo experimental.

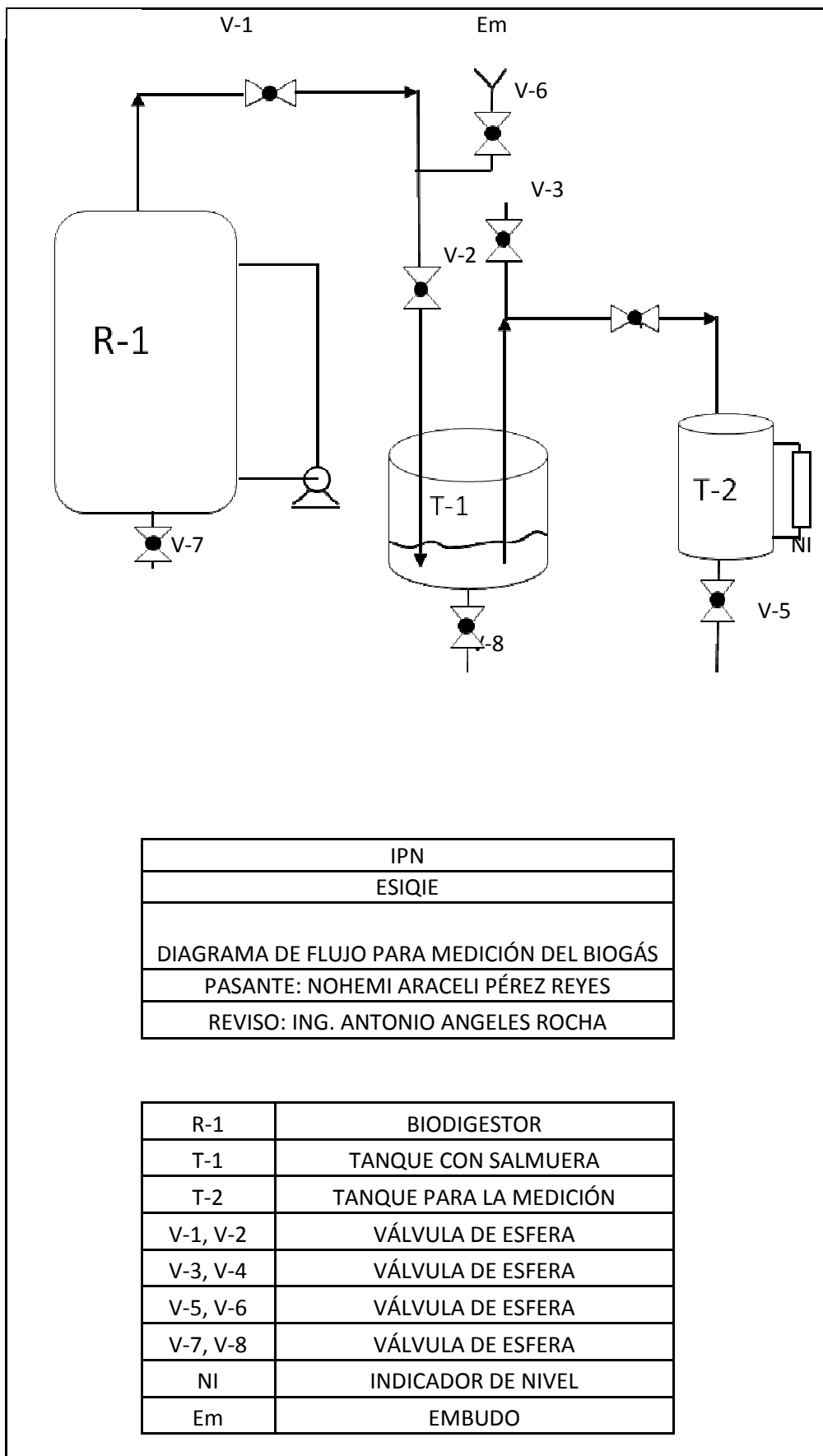


Figura 2.14 alimentación del sustrato

#### 2.2.1.2 Régimen permanente.

La siguiente etapa fue el de la consecución del régimen permanente a partir de la sexta semana, cuya duración fue de un mes, tiempo durante el cual al estar ya alimentando el 100% de sustrato además de los parámetros ya mencionados se pretendía medir el volumen de biogás generado diariamente, con un método ver figura 2.15 donde utilizando una solución saturada de salmuera (380 gr por litro de agua de la llave ), el volumen de biogás generado tiene que desplazar el equivalente de salmuera, esto tiene que ser antes del acoplamiento entre la trampa de biogás y el tanque de almacenamiento con una conexión de dos porrones interconectados en el primero se coloca la solución de salmuera y el segundo sirve como receptor del volumen equivalente del biogás generado. En el segundo porrón en su parte baja se le acopla una válvula de esfera V5 para la recuperación de la salmuera desplazada y restituida al primer porrón , al cual una vez que se le adiciona la salmuera recuperada, en una V6 y V5 válvula acoplada en su parte superior y cuya función es permitir el venteo del biogás acumulado se requiere contacto con una flama V3 y si esta se incrementa y su coloración es azul es indicador de que se estaba generando biogás con un contenido porcentual mayor que el de bióxido de carbono, en el caso de la trampa de biogás estas pruebas se hicieron durante la tercera etapa una vez que se hizo el acoplamiento con el tanque de almacenamiento, usando para ello la válvula que también tuvo la función de drenar los condensados V8 .

Figura 2.15 Diagrama de flujo para la medición del biogás (alternativo)



### 2.2.1.3 Obtención de los productos

Para ser sometidos a análisis y de acuerdo con los resultados de estos y hecha su comparación como lo marca la literatura consultada y las normas aplicadas en cuestiones de calidad a cada uno de ellos saber si fueron o no satisfactorios para su uso en las pruebas de campo el tiempo de esta etapa experimental fue de 4 semanas.

#### 2.2.1.3.1 Almacenamiento del biogás.

El biogás generado una vez logrado el régimen permanente fue almacenado en el tanque descrito en el diagrama de flujo y usado para algunas pruebas piloto de calefacción de un invernadero anexo al área experimental. Desafortunadamente no se pudo analizar por cromatografía de gases para saber su composición porcentual en volumen de cada uno de sus componentes por lo costos elevados del mismo y que salían fuera del alcance económico disponible. Los resultados de estas pruebas se discutirán en el capítulo correspondiente.

#### 2.2.1.3.2 Obtención de la mezcla del líquido fertilizante y biomasa.

La descarga de la mezcla del líquido fertilizante y la biomasa se llevo a cabo a través de la válvula V6 ubicada en la parte inferior del biodigestor. Dicha mezcla una vez obtenida, se sometió a un cribado a través de mallas apropiadas que permitieran la separación de cada uno de los dos componentes a veces es posible separar una parte de los sólidos por simple sedimentación pero aquellos de naturaleza coloidal tienen que ser sometidos al cribado para su separación del líquido. El cual una vez obtenido se fue almacenando en un tanque cuya capacidad es de 1000 litros para su posterior uso en las pruebas de campo. La biomasa fue secada al aire libre y usada como fertilizante y mejorador de suelos en las pruebas de campo.

## 2.3 FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR TEÓRICA Y EXPERIMENTAL.

### 2.3.1 Funcionamiento teórico:

Con una alimentación diaria de 10 litros de sustrato, en función del tiempo de retención hidráulica contemplada, permitió mantener el volumen útil del Biodigestor. Figura 2.16

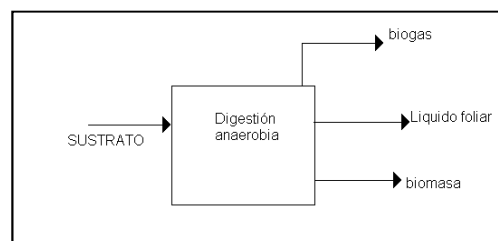
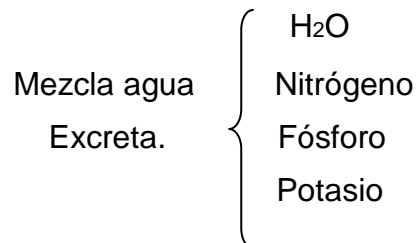


Figura 2.16 proceso de la digestión anaerobia.

La composición de la alimentación y los productos es la siguiente:

- El Biodigestor puede transformar toda la materia orgánica, con que se alimenta siempre y cuando los tiempos de retención hidráulica sean apropiados. Solo se experimentó con excreta de vaca dado que fue el residuo más cercano y disponible al sitio donde se llevo a cabo la fase experimental sus propiedades son las siguientes (7).



Estos compuestos se encuentran en un %peso (%w) igual a:

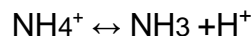
H<sub>2</sub>O - 83.2%

Nitrógeno - 1.67%

Fósforo - 1.08%

Potasio - 0.56%

El nitrógeno amoniacal, es un nutriente rico para el crecimiento bacteriano, es la suma del ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y el amoniaco (NH<sub>3</sub>). Ambas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada una depende del pH tal como indica la ecuación de equilibrio.



Se midió su concentración al término del periodo de experimentación en el fertilizante liquido, capitulo 4

En el capítulo 1 se menciona que su valor en por ciento peso (%w) es de 1.67%/kilogramo de excreta, al ser un compuesto inerte su valor en el producto debe ser 1.67%.

El fosforo es un nutriente esencial ya que es para la planta lo que el calcio para los humanos, por lo cual es de suma importancia que el liquido fertilizante lo contenga. Se sabe que una de las ventajas de los procesos de digestión anaerobia, frente a los procesos aerobios, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaerobios. Por lo tanto en una digestión anaerobia, cuando las bacterias realizan su trabajo para la obtención del biogás utilizan la mínima cantidad de fosforo y potasio para la obtención del producto como se puede ver en las reacciones mencionadas en el capítulo 1.

Así que aproximadamente se debe obtener un porcentaje en peso:

Fosforo = 1.08% / kilogramo de excreta.

Potasio = 0.56% / kilogramo de excreta.



- Líquido fertilizante.

Teóricamente el líquido fertilizante debe tener las mismas cantidades de Nitrógeno, fósforo y potasio que la alimentación por ser un bioreactor anaerobio las bacterias no utilizan estos nutrientes como las bacterias aerobias, para obtener un biofertilizante rico en nutrientes. Dado que la demanda es muy alta para suelos muy desgastados y control de plagas de forma natural sin utilizar químicos destructivos, se construyó un Biodigestor con tiempo de retención hidráulica de 4 y 7 días para una producción mayor ajustándose a 4 días, obteniéndose un líquido rico en nutrientes a la par que otros obtenidos con tiempo de retención hidráulica de 28 días o más. Esto indica que las condiciones de operación implementadas se pueden aplicar como un patrón para futuras investigaciones.

### 2.3.2. Funcionamiento experimental.

El periodo experimental fue de 3 meses. Repartido en tres etapas aclimatación, estado estacionario y caracterización de los productos. La parte operacional requirió de labores diarias como:

- 1) Verificar que la presión se mantuviera cercana a  $0 \text{ Kg/cm}^2$ , en caso de sobrepasar el valor de  $0.8 \text{ Kg/cm}^2$  se solucionaba abriendo la válvula de venteo o quemando el biogás de la trampa para generar vacío en el mismo y dar apertura al desplazamiento del acumulado en la parte superior del Biodigestor hacia el tanque de almacenamiento o quemando un poco del almacenado en el tanque correspondiente.
- 2) Temperatura.- El Biodigestor se trabajó en el rango mesofílico a una temperatura de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  la cual fue lograda y mantenida con un calentador de cuarzo y el debido aislamiento del Biodigestor con fibra de vidrio como ya quedó asentado en el capítulo 2. Si la temperatura disminuía en 2 grados o más se prendía el calentador y a través de unos temporizadores, se mantenía el calentamiento hasta su restitución, esta operación se llevaba a cabo 8 veces por día.
- 3) Preparación del Sustrato.- Se disolvieron 3 kg de excreta en 12 litros de agua para poder obtener 10 litros de mezcla filtrada, antes de alimentarlos se les midió el pH si no era neutro, se neutralizaba con ácido acético o hidróxido de sodio. En las figuras 2.17. y 2.18 se aprecia cómo se llevaba a cabo dicha alimentación y descarga tanto de sustrato como de productos.



Figura 2.17. Alimentación del sustrato



Figura 2.18 Descarga del producto.



Figura 2.19 Sedimentador

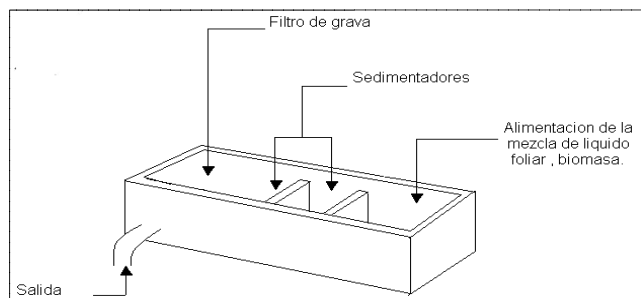


Figura 2.20. Vista del Sedimentador por dentro

- 4) El producto es una mezcla de líquido y sólidos por lo que se sometieron a un cribado previa sedimentación figuras 2.19 y 2.20 para separar las 2 partes, el líquido se almacena en un tanque con capacidad de mil litros y la parte sólida se deseca por exposición directa al sol antes de su uso manteniendo una humedad relativa de 30 % .
- 5) El producto líquido se analizó en términos de N, P, K, DBO, DQO, Y Sólidos Totales capítulo 4 para verificar su contenido y su posible uso como fertilizante foliar y para suelos si cumple con los estándares de macro nutrientes en este tipo de insumos.
- 6) Con fin de vender el producto (fertilizante líquido) se envasa en botellas de plástico de 250, 500 ml. y 1 litro.

#### 2.4 CONTROL DE PARAMETROS.

En todo tratamiento biológico anaerobio los parámetros a controlar son: DBO, DQO, sólidos en todas sus formas, CO<sub>2</sub>, conductividad, temperatura, pH, presión, carga orgánica volumétrica, producción de biogás (si la hay), tasa de recirculación, alcalinidad, etc.

Por limitantes de instrumentación y equipo solo se controlaron, presión, temperatura pH, carga orgánica, nivel. Esto se describe a continuación.

### 2.4.1 Control de temperatura.

La temperatura se controla por un sensor de metal acoplado al termómetro Taylor con un filamento de metal, el cual para evitar su corrosión se colocó en el termopozo ubicado en la parte superior del biodigestor como se muestra en el diagrama de flujo. Su función era transmitir la señal una vez receptada hacia la escala de temperatura interior del biodigestor y en caso del descenso de la misma activaba el calentador de cuarzo colocado dentro del cubo de ladrillo y a un costado lateral del biodigestor hasta la restitución del valor fijado para la experimentación 40 °C esto se hizo por prueba y error, se calculó el tiempo que tardaba en elevar la temperatura hasta su valor de control en el biodigestor. El cálculo de energía se hará mas adelante en los costos.

El temporizador se ajustó a un tiempo de encendido del calentador cada 3 horas y que trabajara 30 minutos tiempo suficiente para restituir la temperatura deseada. Este ajuste se hizo porque en ese lapso de tiempo se tuvieron pérdidas de 2°C . Figura 2.21.



Figura 2.21 interior del cubo de ladrillo con la ubicación del calentador de cuarzo a un costado del Biodigestor.

### 2.4.2 Control de la presión.

El biogás generado por la digestión anaerobia se desprende de forma natural del seno del biodigestor de donde fluía hacia la trampa del biogás ahí ingresa quizás mezclado con las natas generadas por efecto de la recirculación, dichas natas quedan condensadas en dicha trampa y solo sale en biogás que fluye hacia el tanque de almacenamiento evitándose su regreso por la válvula check ubicada entre ambos equipos. Si la presión en el interior del biodigestor que es registrada en el manómetro que se localiza en su parte superior registra 0.8 Kg/m<sup>2</sup> se drena bien por la válvula acoplada para tal efecto o se activa un compresor para desalojarlo y mandarlo hacia el tanque de almacenamiento manteniendo así su valor en el entorno de 0 Kg/m<sup>2</sup> las lecturas se tomaban cada 8 horas diariamente

### 2.4.3 Control de la alimentación.

Fue diario de la siguiente manera:

- Se prepararon diariamente 10 litros de sustrato utilizando 1 kg de excreta de vaca por cada 4 litros de H<sub>2</sub>O figura 2.22
- Filtración de la mezcla para tener una solución semisólida, figura 2.23
- Se alimentaron los diez litros preparados y se retiraron los mismos diez litros como producto para su almacenamiento este patrón se debe al TRH figura 2.24



Fig. 2.22 preparación de la mezcla de alimentación



Fig. 2.23 filtración de la mezcla



Fig. 2.24 alimentación del sustrato

### 2.4.4 Control de la agitación

La generación del líquido fertilizante y biogás depende totalmente del efecto sinérgico de las bacterias involucradas en la descomposición del sustrato en el TRH manejado. Lográndose cuando Los microorganismos y la materia prima o sustrato están en íntimo contacto por lo que es necesario agitar la masa interna del Biodigestor. Para esto se uso una bomba centrífuga para recircular cada 2 horas durante 15 minutos el sustrato, homogenizando la masa interna, el ajuste se hizo usando un temporizador análogo al usado para el control de la temperatura.

## 2.4.5 Control del pH.

Esto se hizo usando un método colorimétrico con tiras reactivas de cuatro sectores de la siguiente manera: por la mañana y por la tarde se tomaba una muestra de 50 ml. A la cual se le introducía una tira reactiva durante 30 segundos la cual se comparaba contra la escala que acompañaba al contenedor de dichas tiras y dependiendo de su valor se aplicaban o no los buffers. Los resultados se discuten en el siguiente capítulo en lo que se refiere al producto. A la alimentación también se le regulo antes de introducirlo al Biodigestor ayudando de esta manera a mantener el régimen permanente figura 2.25.



Figura 2.25 monitoreo del pH

# CAPITULO 3

COMPARACIÓN DEL BIODIGESTOR  
CON TIEMPO DE RETENCION  
HIDRÁULICA DE 4-7 DIAS CON  
OTROS EXISTENTES.

---

## CAPITULO III COMPARACIÓN DEL BIODIGESTOR CON TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 4-7 DÍAS CON LOS EXISTENTES

### 3.1 REQUISITOS PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO.

En este capítulo remarcamos como inicio aquellos parámetros que se deben considerar para el correcto funcionamiento de cualquier tratamiento biológico anaerobio independientemente de las condiciones de operación bajo las cuales se trabaje mencionadas en el capítulo 2.

#### 3.1.1 pH y Alcalinidad

Los microorganismos anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad para su correcto desarrollo, aunque permite cierta oscilación. El pH afecta fundamentalmente a la actividad enzimática de los microorganismos, mediante: cambios de estado de los grupos ionizables de las enzimas como el carboxil y amino; y alteración de los componentes no ionizables del sistema. En cada etapa del proceso los microorganismos presentan máxima actividad en un rango de pH diferenciado:

Hidrolíticos 7.2 - 7.4

Acetogénicos 7.0 - 7.2

Metanogénicos 6.5 - 7.5.

El mantenimiento del pH es de vital importancia en el sistema formado por las diferentes formas del carbono inorgánico, en equilibrio –dióxido de carbono, bicarbonato, carbónico-. En algunas aguas residuales con bajo poder tampón puede llegar a ser necesario controlarlo exteriormente. a fin de evitar su descenso debido a los ácidos generados en la segunda fase. En cambio para los residuos ganaderos, y los RSU, su alta alcalinidad permite una autorregulación. Lo cual mantiene al sistema en el régimen permanente.

#### 3.1.2 Temperatura

El proceso de DAN (digestión anaerobia) puede realizarse a tres rangos diferentes de temperatura: Psicrófilo: por debajo de 20° C; mesófilo, entre 30° y 40° C; termófilo, entre 50° y 70° C. El Psicrófilo tiene la desventaja de tiempos de retención hidráulica grandes como consecuencia de la lentitud de crecimiento de los tipos de bacterias involucradas, el segundo se usa cuando los volúmenes de residuos son medios) 2000-3000 Kg de residuos por día) y el tercero para un escalado industrial. Con el aumento en el rango de temperaturas se aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias y con esto la velocidad en la producción de biogas. Trabajando en el rango termofílico se asegura, además, la destrucción de patógenos, la eliminación de semillas de malas hierbas, huevos y larvas de insectos.

A pesar de las grandes ventajas de los sistemas termofílicos, estos requieren de mayor control e inversión por lo que no es recomendable para pequeños y medianos volúmenes de residuos, también a altas temperaturas el nitrógeno amoniacal se comporta como inhibidor. Esto puede equilibrarse mediante mezclas de residuos de diferente origen para disminuir la concentración en nitrógeno

### 3.1.3 Presión

La presión dentro del Biodigestor se debe encontrar cerca de  $0 \text{ Kg/cm}^2$ , lo contrario es un indicio de que el biogás no está siendo desalojado, incrementando la presión dentro del sistema colapsándolo e inhibiendo su adecuado funcionamiento.

### 3.1.4 Nutrientes

Una adecuada relación entre nutrientes garantiza el desarrollo de la flora bacteriana. La relación C/N debe estar comprendida entre 15/1 y 45/1, con un valor medio de 30/1. Valores inferiores disminuyen la velocidad de reacción y valores superiores crean problemas de inhibición. Para el fósforo la relación óptima es C/P = 150/1. Valores inferiores no crean problemas de inhibición. En general, los residuos ganaderos no presentan problemas por falta de nutrientes

### 3.1.5 Estabilidad, toxicidad e inhibición

Las formas no ionizadas de los ácidos grasos volátiles, así como el amoníaco libre o el ácido sulfhídrico son inhibidores de importancia de las bacterias metanogénicas. Estos compuestos presentan una inhibición de tipo reversible. Los metales pesados, también son inhibidores, o tóxicos a altas concentraciones.

La aclimatación de las poblaciones bacterianas juegan un papel importante en el momento de definir concentraciones críticas, así como el efecto sinérgico o antagónico que la presencia de una sustancia puede tener sobre la actividad tóxica de otra.

Para residuos ganaderos en general, los compuestos críticos son el nitrógeno amoniacal, los antibióticos y los desinfectantes, así como el Cu y el Zn para residuos de porcino. Se ha comprobado que concentraciones de Spyramicina de 50 mg/L en los residuos puede provocar una disminución del 56% en la producción de gas, mientras que otros antibióticos se han mostrado inactivos. Los desinfectantes son mucho más activos, llegando a provocar disminuciones en la producción hasta del 90% a bajas concentraciones por lo que se debe tener cuidado en su aplicación en cada ciclo de producción en la sanitización de las instalaciones (Flotats et al, 1997)

El Cu es inhibidor a partir de 40 mg/L y el Zn lo es a partir de 400 mg/L. Ambos son tóxicos a partir de 70 mg/L y 600 mg/L respectivamente

## 3.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR.

### 3.2.1 Costos de construcción.

Incluyen todos los materiales que se utilizaron tabla 3.1. Y los complementarios

El material de laboratorio incluye un matraz, bureta, 2 pipetas, vaso precipitado. El material de plástico incluye cubetas para maniobrar de carga y descarga y un embudo.



Tabla 3.1 costo de los materiales para la construcción ajustados al 2010.

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Costo unitario pesos</b>	<b>Costo total pesos</b>
1	Tanque de acero inoxidable(304) de 50 lts	15000	15000
6	Válvulas de esfera de 1" de bronce	86.72	520.3
2	Válvulas de esfera de 1/2"	46.2	92.4
2	válvulas check de 4"	400	800
6	tuercas unión de cobre de 1"	85.75	514.5
2	Niples de 1 1/4 " a 1"	80	160
6	Codos de cobre de 1"	21.32	127.9
3.6	Metro de tubo de cobre de 1"	100.4	361.5
1	Metro de tubo de cobre para gas de 1/2 "	73.8	73.8
1	Bomba centrifuga de 1/2 Hp	593.575	593.6
1	Tanque de almacenamiento de biogás.	1500	1500
2	Temporizador	240	480
1	Manómetro	740	740
1	Termómetro	170	170
1	Calentador	350	350
	Material de laboratorio	400	400
	Material de plástico	50	50

Costo total de construcción	21933 Pesos
-----------------------------	-------------

### 3.2.2 Costos de operación.

Incluyen electricidad, químicos etc. tabla 3.2.

- La electricidad que se utilizo para la operación de la bomba centrifuga los temporizadores y el calentador fue de la línea convencional de una casa, aunque lo más lógico sería utilizar el biogás producido cuando este sea producido en cantidades apropiadas.
- El único servicio público utilizado fue el agua para la alimentación y lavado de material.
- Tiras reactivas, para la medición de pH.

Tabla 3.2 gastos de operación ajustados al 2010

TIPO DE GASTO	DETALLE DEL GASTO	COSTO
Electricidad	1 Kwh	0.75 Pesos
Transporte de materia prima	Gasolina	8 pesos (lt)
Servicios públicos	Agua	4 pesos (m <sup>3</sup> )
Productos químicos	1 Kg de NaOH	32.81 Pesos
	1 litro de CH <sub>3</sub> OOH	20.16 Pesos
Tiras reactivas de pH	Caja con 100 tiras	89 Pesos
Materia Prima	1 camión de 3 ½ toneladas	600 Pesos

TOTAL 754.72 pesos

En una investigación de mercado el costo promedio de 1 litro de fertilizante líquido es de aproximadamente 80 -100 pesos. Con este dato a continuación se calculara el costo total de operación por mes, se sabe que diario el Biodigestor produce 10 litros de fertilizante líquido mezclado con biomasa.

Costo total al mes de operación tomando los datos de la tabla 3.2:

La bomba es de ½ Hp y se sabe que 1Hp = 0.736 kw por lo tanto la bomba trabaja con .368 Kw. Los temporizadores funcionaron 8 veces al día por 15 min, en total son 120 min al día, al mes seria 3600 min que es igual a 60 horas por lo cual:

$$Kwh \text{ totales} = 0.368Kw * 60 \frac{hr}{mes} = 22.08 \frac{Kwh}{mes}$$

$$Costo \text{ al mes} = 22.08 \frac{Kwh}{mes} * 0.75 \frac{pesos}{Kwh} = 16.56 \frac{pesos}{mes}$$

El calentador necesita 800 watts lo que es igual a 0.8 Kw igual que la bomba con el temporizador trabajo 8 veces por 30 min al día serian 240 min y al mes son 7200 min que es igual a 120 hrs/ mes. Por lo tanto:

$$Kwh \text{ totales} = 0.8Kw * 120 \frac{hr}{mes} = 96 \frac{Kwh}{mes}$$

$$Costo \text{ al mes} = 96 \frac{Kwh}{mes} * 0.75 \frac{pesos}{Kwh} = 72 \frac{pesos}{mes}$$

Sumando los dos gastos de energía que representa el uso de la bomba y el calentador da un total de:

$$Costo \text{ total de energia} = 16.56 \frac{pesos}{mes} + 72 \frac{pesos}{mes} = 88.56 \frac{pesos}{mes}$$

En el proyecto no se necesito de ningún tipo de transporte que utilizara gasolina, pero se tomara en cuenta para poder comparar el costo total con los otros Biodigestores, la ranchería mas cercana al Biodigestor estaba aproximadamente a 1 km, un camión de 8 cilindros gasta aproximadamente entre 0.16 – 0.14 litros por km, se hace 1 viaje por semana lo que cuenta ida y regreso serian 2 km por día, en total son 8 km por mes, por lo tanto:

$$\text{Litros totales al mes} = 0.15 \frac{\text{lt}}{\text{Km}} * 8 \frac{\text{km}}{\text{mes}} = 1.2 \frac{\text{lt}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo al mes} = 1.2 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} * 8 \frac{\text{pesos}}{\text{lt}} = 9.6 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}}$$

Servicios publico se tomara en cuenta que solo será el agua, por lo que para la alimentación se necesitan 4 litros por cada kg de excreta, cada día se diluían 3 kg en 12 litros en un mes es un total de 360 litros suponiendo que el mes es de 30 días, el agua no solo se utiliza para la alimentación del Biodigestor también para la limpieza de los materiales tanto de plástico como de la regulación del pH, se gasto un aproximado de 15 a 20 litros por día por lo que al mes fueron 600 litros. El total final que se gasta al mes es de 960 litros de agua, si lo convertimos a m<sup>3</sup> es un total de 0.96 m<sup>3</sup> por lo tanto:

$$\text{Costo al mes} = 0.96 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} * 4 \frac{\text{pesos}}{\text{m}^3} = 3.84 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}}$$

Ya que en la titulación variaban los mililitros del Hidróxido de sodio (NaOH) y acido acético (CH<sub>3</sub>OOH) en necesario tener al mes, 1Kg (NaOH) y 1 litro de (CH<sub>3</sub>OOH) se gasta un total de :e

$$\text{costo al mes} = 32.81 \text{ pesos} + 20.16 \text{ pesos} = 52.97 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}}$$

Para calcular el costo mensual de la excreta para operar el Biodigestor se usaron 3 Kg diarios, al mes fueron 90 Kg/mes con un costo de 20 pesos dado que 3500 kg cuestan 600 pesos, costo proporcionado por un productor de ganado

Sumando los costos totales de la operación ver tabla 3.3 se determinan un aproximado de gasto al mes lo cual se compara con las ganancias obtenidas por la venta del fertilizante líquido foliar.

Tabla 3.3 gastos de operación mensuales.

TIPO DE GASTO	DETALLE DEL GASTO	COSTO/MES en pesos
Electricidad W	Kwatt	88.56
Transporte de materia prima	Gasolina	9.6
Servicios públicos Agua	Agua	3.84
Productos químicos	NaOH	32.81
	CH3OOH	20.16
Tiras reactivas de pH	Caja con 100 tiras	89
Materia Prima	Kg de excreta	20 pesos

Total gasto al mes	264 Pesos
--------------------	-----------

La mezcla solidó-liquido se comercializa una vez separadas las fracciones correspondientes, de una investigación de mercado el litro de líquido tiene un costo promedio de 100 pesos, y si diario se descargan  $10 \pm 1$  litros al mes se producen en promedio 300 litros que generaran ingresos de 9000 pesos a los cuales restándole los gastos de operación, darían una ganancia de 8736 pesos lo cual puede considerarse atractivo como negocio sin dejar de lado los problemas ambientales que se solucionan con esta tecnología innovada.

### 3.3 COSTOS DE OPERACIÓN DE ALGUNOS BIODIGESTORES EXISTENTES

Solo se discutirá el costo de operación de los Biodigestores más conocidos que son el hindú, chino y OLADE (Guatemala) horizontal, el costo de operación aproximado si estos trabajaran a 50 litros de capacidad se da en la tabla 3.4. Esto servirá para la discusión de resultados.

Tabla 3.4 costos de operación <sup>(16)</sup>

Tipo de Biodigestor	Costo de operación en pesos
Hindú	210
Chino	120
OLADE de Guatemala	230
Experimental retención hidráulica	264

Tipificando los costos de operación, y suponiendo que se implementara un Biodigestor en una pequeña comunidad de 100 personas y 10 vacas, estadísticamente se generan 1Kg/día de residuos sólidos urbanos donde el 50% es Materia orgánica por lo tanto son 50 kg de residuos orgánicos mas 160 kg de excreta de vaca, por lo tanto tenemos 210 Kg de materia orgánica, para mantener una constante de concentración apropiada para la biodegradación se utilizan por cada kilogramo 4 litros de agua dando un total de 840 lts. De sustrato por día. Necesitando un biodigestor de 1.1m<sup>3</sup> para procesarlos.

Si consideramos que los Biodigestores de la tabla anterior se construyeran del mismo material (acero inoxidable) respetando su geometría y operación similar al de este trabajo se tendrían ingresos diarios de 80640 pesos; (aclarando que el chino y el hindú en lugar de ser totalmente enterrados solo será parcialmente para si hay necesidad de un complemento energético se le pueda suministrar).

# **CAPTULO 4**

## **PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

CAPITULO IV PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos a lo largo del periodo experimental se presentan en las tablas 4.1, 4.2 en la primera se concentran los valores de pH, Temperatura y presión bajo los cuales se trabajo durante las 13 semanas. La segunda es el concentrador de los análisis de laboratorio que se hicieron del efluente líquido una vez que fue separado de la biomasa y los de las caracterizaciones de los 3 principales residuos que se generan de la actividad pecuaria para fines de comparación.

Tabla 4.1 valores de temperatura, pH y presión a los que se trabajo durante la experimentación

Parámetro	ETAPA	SEMANAS DE OPERACIÓN												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ph	1*	7	7	7	7	7								
	2**						7	7	8	7				
	3***										6	7	7	6
Temperatura (T) °C	1*	40	40	40	39	40								
	2**						41	40	41	39				
	3***										40	39	40	41
Presión (P) Kg/cm <sup>2</sup>	1*	0	0	0	0	0								
	2**						0	0	0	0				
	3***										0	0	0	0

\*Aclimatación

\*\*Régimen permanente

\*\*\*Obtención del producto para análisis

Tabla 4.2 valores de la caracterización del afluente- efluente durante la experimentación.

Parámetro	BIODIGESTOR*		OTROS**		
	Afluente	Efluente	Vacuno	Porcino	Aviar
Nitrógeno (N)	ND	7.63 mg/L	2.338 mg/L	5.222 mg/L	8.554 mg/L
Fósforo (P)	ND	9.8 mg/L	3.348 mg/L	14.012 mg/L	16.151 mg/L
Potasio (K)	ND	ND	2.184 mg/L	11.271 mg/L	12.48 mg/L
DQO	ND	62.34 mg/L	ND	ND	ND
DBO	ND	1560 mg/L	ND	ND	ND
SST	ND	3.98 mg/L	ND	ND	ND
SSV	ND	1.49 mg/L	ND	ND	ND
pH	7	6.5	ND	ND	ND
Temperatura	40	40	ND	ND	ND
Presión	0	0	ND	ND	ND

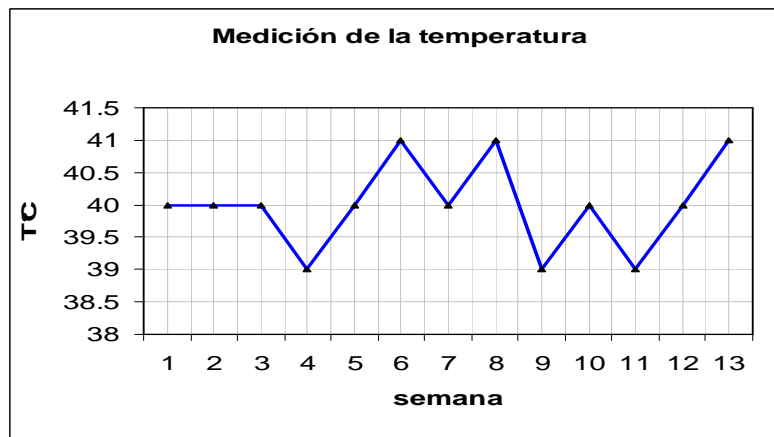
\*Parte experimental

\*\* Sagarpa 2007

A continuación se explicara cada uno de los parámetros principales con su respectiva grafica:

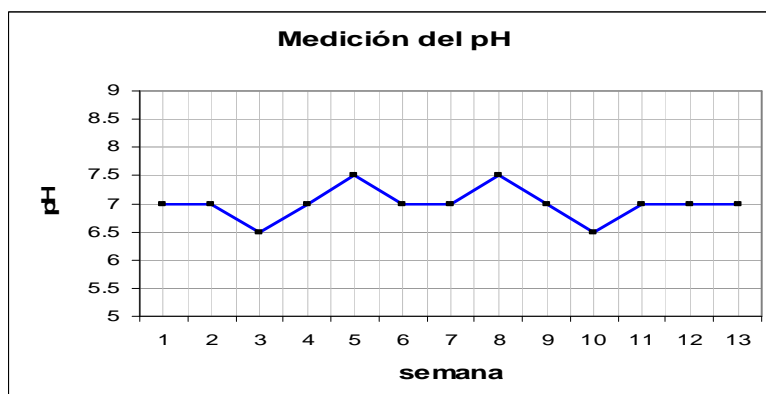
La temperatura grafico 4.1 fue monitoreada diario consiguiendo mantenerla en los 40 °C y con esto la estabilidad del sistema solo con una pequeña variación de  $\pm 1$  °C.

Grafico 4.1 Parámetro de Temperatura



Del pH grafico 4.2 se tomaron varias muestras diariamente en las tres etapas experimentales, en la aclimatación se necesitaba que el pH se encontrara entre 7.5 y 8.5 de pH lo cual se logro, con la estrategia de arranque manejada, en la siguientes dos etapas del proceso (régimen permanente y obtención del producto) se mantuvo en un rango de  $7\pm 1$  pH con la finalidad de obtener un producto neutro y comercializable.

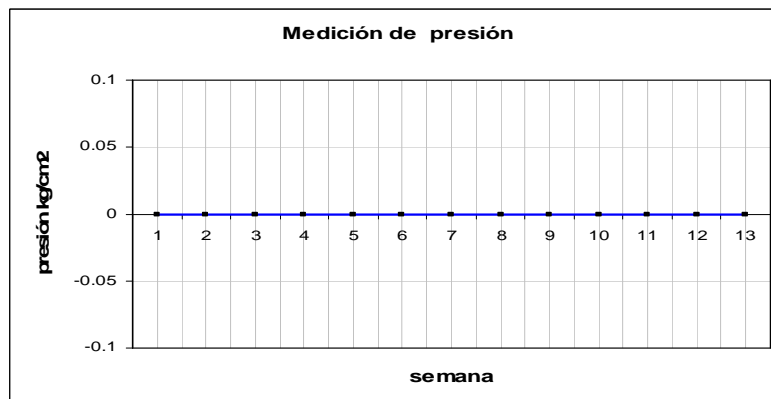
Grafico 4.2 Parámetro de pH





La presión gráfico 4.3 se logro mantener entre  $0 \text{ Kg/cm}^2$  -  $0.8 \text{ kg/cm}^2$  por lo que el biogás logro fluir hacia el tanque de almacenamiento sin quedarse estancado dentro del Biodigestor

Grafico 4.3 Parámetro de presión



La homogeneidad del sustrato dentro del Biodigestor se mantuvo Como resultado de la recirculación y los resultados obtenidos en los parámetros monitoreados.

#### 4.1 ANÁLISIS DEL FERTILIZANTE LIQUIDO FOLIAR

En este apartado solo se presentan los resultados del análisis que se le hizo al producto liquido- solidó en el apéndice se dan las técnicas analíticas.

##### 4.1.1 Determinación de la DBO5

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de la muestra en un periodo de 5 días ver figs. 4.1, 4.2, 4.3.

El análisis se baso en la norma (NMX-AA-028-SCFI-2001) (APENDICE 1) y (NMX-AA-012-SCFI-2001) (APENDICE 2)



Fig 4.1 incubación por 5 días



Fig. 4.2 botellas winkler para análisis de DBO



Fig. 4.3 después de la titulación queda de un color amarillo pálido

Se obtuvo un valor de  $DBO_5 = 62.34 \text{ mg/lit.}$

#### 4.1.2 Determinación de la DQO

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la totalidad de la materia oxidable, tanto Orgánica como inorgánica. Se mide en ppm o mg/lit. Es el resultado de una oxidación química en solución por medio de mezcla Sulfo-Crómica en Caliente. Guarda cierta relación con la  $DBO_5$ , siendo esta ultima una fracción de la primera que oscila entre el 2 y el 70 %. En desechos poco biodegradables como la gasolina y los Hidrocarburos ver fig. 4.4.

Se determino por el procedimiento de la norma (NMX-AA-030-SCFI-2001) (APENDICE 3)



Fig. 4.4 equipo para realizar la determinación de DQO

El resultado de esta prueba fue:

DQO= 1560 mg/L

#### 4.1.3 Determinación de sólidos totales y volátiles (ST y SV)

Las aguas naturales o residuales con altos contenidos de sólidos suspendidos o sales disueltas no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o por las plantas potabilizadoras. De ello se deriva el interés por determinar en forma cuantitativa estos parámetros ver fig. 4.5.

Se determino acorde a la norma NMX-AA-034-SCFI-2001 (APENDICE 4)



Fig. 4.5 capsula de porcelana dentro de un desecador

Resultados:

Sólidos totales (ST)= 3.987 mg/L

Sólidos totales volátiles (SVT)= 1.497 mg/L

#### 4.1.4 Determinación de nitrógeno

Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Las fuentes de nitrógeno incluyen además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables y residuales. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente.

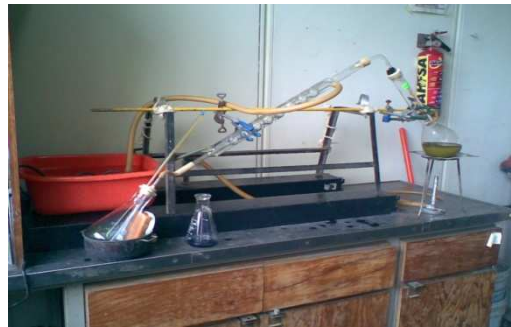


Fig. 4.6 determinación de nitrógeno

Para la determinación de nitrógeno total Kjeldahl por el procedimiento de la norma (NMX-AA-026-SCFI-2001) (APENDICE 5)

Resultado = 7.63 mg/L

#### 4.1.5 Determinación de fosforo

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas como fosfatos. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos órgano fosfatados. Estas formas de fosfatos provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas.

Para la determinación de este nutriente se utilizó la norma (NMX-AA-029-SCFI-2001) (APENDICE 6) por el método ácido vanadomolibdofosfórico. Para realizar la lectura del fosforo se hizo una curva de calibración para determinar su valor ver fig. 4.7



Fig. 4.7 análisis de fosforo

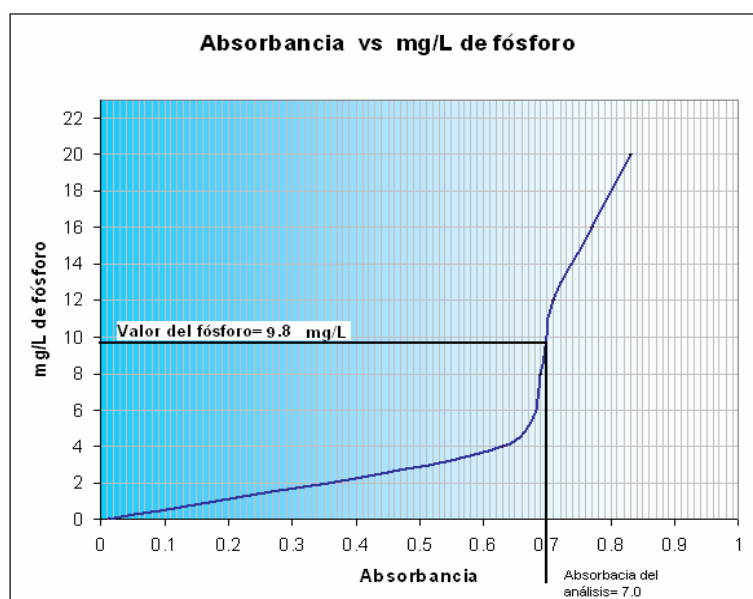
una vez que se tiene la curva de calibración se hace la lectura del contenido de fosforo en la muestra por interpolación tabla 4.3

Tabla 4.3 valores de absorbancia-transmitancia para el grafico de la curva de calibración y obtención del fosforo en el efluente

Lectura 470 nm			
	mg/L	Absorbancia	Transmitancia
blanco	0	0.011	97
	4	0.63	21
	8	0.69	20.1
	12	0.71	19.9
	16	0.77	18
	20	0.83	15

El valor obtenido de la absorbancia de la muestra fue de 0.7 % lo cual se intercepta con la curva de calibración para el contenido de fosforo en la muestra del efluente grafica 4.4

Grafica 4.4 Curva de calibración del fosforo e interpolación.



El resultado de la interpolación da como resultado 9.8 mg/L de Fósforo

## 4.2 DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados de los análisis hechos al efluente se concentran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 resultados del análisis del producto

ANALISIS	VALOR MG/L
DBO	62.34
DQO	1560
SST	3.98
SSV	1.49
NITROGENO	7.63
FOSFORO	9.8

Con estos resultados podemos llegar a la conclusión de que el fertilizante liquido foliar obtenido es rico en nutrientes y cumple con los estándares en el mercado en contenido de nutrientes a su vez es de gran beneficio para el medio ambiente porque coadyuva a disminuir su impacto en el mismo, basándonos en investigaciones previas sobre necesidades nutricionales. Las plantas requieren porcentajes de este fertilizante para completar su ciclo productivo en su parte foliar aplicándolo después de diluirlo con agua según especie, como ejemplo damos la tabla 4.5.

De acuerdo a los resultados en contenido porcentual y calculando las proporciones en macro nutrientes tenemos NPK que comparada con un producto de la misma naturaleza y que ya esta en el mercado se observa que:

Mercado: 5 – 5 - 12

Experimental: 38– 50–11

Las recomendaciones de la aplicación y la dilución basándonos en el nitrógeno como punto de partida y por experimentación de campo con los mejores resultados, fue de 1:20, logrando mayor diámetro del tallo de la planta, se apreció mejor color en la

pigmentación y brillantes de las hojas, mayor altura la raíz tuvo mayor anclaje la especie a la que se aplico fue jitomate para ejemplificar.

Para que su aplicación sea mas efectiva a la parte foliar debe hacerse por aspersión y si es al suelo por goteo, mejorando así la absorción de nutrientes.

Tabla 4.5 dosis de aplicación en diferentes cultivos (17)

Cultivo	Dosis	Época de Aplicación
Vid	0,5 - 0,75 % 1 - 1,5 %	Cada 10 días, durante el crecimiento vegetativo. En época de llenado cada 7 días.
Berenjena, Calabaza Frutilla, Melón, Pepino Pimiento, Sandía, Tomate	1 - 2 %	Iniciar aplicaciones al principio de la fructificación. Repetir con intervalos de 7-10 días.
Ciruelo, Durazno, Manzana, Pera	0,3 - 1 %	Iniciar aplicaciones al principio de la primavera mediados de verano 1-2 semanas antes de la cosecha.
Limón, Mandarina, Naranja, Toronja	1 - 3 %	Iniciar aplicaciones cuando las hojas de los nuevos brotes tengan 75% de su tamaño normal, repetir después de la floración cada 7-10 días.
Ajo, Cebolla, Papa, Rabanito, Zanahoria	1 - 2 %	Iniciar aplicaciones a principio de la época de llenado, repetir con aplicaciones cada 7-10 días hasta 15 días antes de la cosecha
Tabaco	1%	Después del trasplante, repetir cada 20 días hasta cosecha,
Azúcar	1 - 1,2 %	Iniciar con plantas de 30 cm de altura, repetir 3-4 veces cada 15 días.
Vivero Forestal	1%	A los 3 meses de la brotación, 2 aplicaciones con intervalo de 30 días.
Arroz	1 - 2 % 2 - 3 %	En macollaje En espiqazon
Algodón	1,5%	Una aplicación en etapa vegetativa, otra antes de floración, tercera en formación de cápsulas.
Olivo	1,0 % 1,0 - 1,5%	En floración, 1-2 aplicaciones, con 700 lts agua/ha En desarrollo del fruto, 1 aplicación, con 1000 lts agua/ha.
Palta	0,5 - 1,0 %	En periodos de bajas temperaturas, y en recuperación vegetativa después del stress.
Kiwi	0,5 - 1,0 % 1,0 - 1,5%	En prefloración En crecimiento y desarrollo del fruto,
Soja-Poroto	2%	1 aplicación en etapa vegetativa (V5) con 200 lts agua/ha. 1 aplicación en etapa reproductiva (R3) con 200 lts agua/ha.
Te	1,0 - 1,5%	Aplicar después de cada poda de formación, y después de cada cosecha.
Arandanos	0,5 - 1,0 %	Con frutos cuajados de desarrollo intermedio, aplicar cada 7-10 días.
Almácigos	0,3 - 0,6%	Después de los 10 días de la germinación, repetir cada 10 días hasta el momento de trasplante.

Tabla 4.6 Ficha técnica del tomate rojo

TOMATE ROJO	
Nombre Científico:	Lycopersicum esculentum L.
Origen:	América
Familia:	Solanaceae
Variedad:	Marglobe, Río grande, Cheff, Consumo Fresco: Marglobe, Luxor, President, Lungo de mesa

	Industrial: VF-134-1-2, Earlystone, VC-82, Titano, Forte, Peloro, Río Fuego, Río Grande, Cheff, Fortaleza Otras: Fireball, VEN-8, VF-13L, Red Top V-9, Pearson, San Marzano
Periodo Vegetativo:	De 3 a 6 meses, según variedad. Marglobe 120 - 150 d.
Requerimiento de Suelo:	Franco arenoso, terreno suelto, rico en materia orgánica, drenados, de pH 5.5 - 6.8
Clima:	Templado
Estados productores:	Sinaloa, Querétaro, Veracruz
Épocas de Siembra:	Todo el año
Época de Cosecha:	Se inicia a los 90 días con una duración de 30 días.
Temperatura:	
Temperatura máxima:	32 °C
Temperatura mínima:	15 °C.
Temperatura óptima:	18 - 22 °C.
Humedad:	Relativa baja
Jornales (No/Ha) :	100 - 140
Rendimientos (TM/Ha):	
Rendimientos Regionales	16
Rendimientos Nacionales	17.78
Rendimientos Potenciales	40 - 50
Costo Producción (USA \$/Ha):	1500 - 1800
Mercados demandantes:	
Mercado Nacional	Toda la republica mexicana
Mercado Internacional	Israel. (pasta de tomate)
Manejo Técnico:	
Semilla (Kg/Ha):	1 - 1.5
Distanciamiento (m):	Siembra Trasplante: 5 - 10 gr./ m <sup>2</sup> en cama de almácigo (a chorro continuo), y entre líneas separadas a 10 cm.
	Trasplante: entre golpes 0.35 - 0.5 m y
	entre surcos 1.5 - 1.8 m
Fertilizantes:	
Nitrógeno (N). (Kg/Ha):	180 – 300
Fósforo (P). (Kg/Ha):	100 - 150
Potasio ( K). (Kg/Ha):	100
Materia Orgánica	10 - 20 Tm. / Ha.
Módulo de Riego (m <sup>3</sup> / Ha):	8,000 - 9,000
Frecuencia de Riego:	12 - 15 días
Principales Plagas:	Gusano de Tierra, Perforador de brotes, Mosca blanca, Pulgón, mosca minadora, gusano perforador, Gusano pegador de hojas y brotes.
Principales Enfermedades:	Hielo o Rancho, Chupadera, marchitez, podredumbre del fruto
Usos:	Consumo fresco: guisos, ensaladas, pastas, jugos, cremas y sopas.



Se realizó un experimento de campo con tomate rojo tomando en cuenta la tabla 4.6 (ficha técnica) de la cual solo se tomo la parte nutricional requerida en termino de macro nutrientes (NPK) para compararla con el fertilizante liquido obtenido en las proporciones adecuadas, en el periodo de crecimiento y floración (antes de la cosecha) apreciándose lo siguiente mayor pigmentación entre las hojas, mayor espesor del tallo, tamaño mas grande del producto e incremento en producción, no se visualizaron plagas ni en la raíz ni en las hojas.

Este liquido puede ser empleada en cultivos hidropónicos que resultan mas eficientes en la producción de forrajes y pajas considerando su contenido en macro nutrientes al momento de preparar las formulaciones, este no posee mal olor, ni contamina, ni atrae moscas, puede ser aplicado directamente al campo en forma liquida por aspersión.

Puede servir como materia prima para producir compostas mezclado con rastrojos de cosecha, bagazos residuos pecuarios, residuos de jardinería, pajas, etc. también puede utilizarse para fertilizar estantes de peces ayudando en la preparación de su alimento. Destacándose lo siguiente:

- Posee mayor cantidad de nitrógeno que la materia prima original en base seca, el que mediante el proceso de digestión se torna más asimilable por las plantas.
- Es un buen mejorador de suelos por su alto contenido de materia orgánica (mayor del 5%).
- A diferencia del estiércol fresco, no posee malos olores debido a la transformación de los fenoles contenidos en el residuo virgen
- No contiene bacterias patógenas o semillas de mala hierba, puesto que el proceso de digestión las elimina.

Biogás: Las cantidades generadas fueron de aproximadamente 7 litros por litro de efluente con una variación de  $\pm 3\%$ . Como ya se menciona la limitante económica no permitió analizarlo para cuantificar el metano de la mezcla. Los aproximadamente 70 litros generados diariamente se utilizaron para calefacción en un criadero de conejos en la etapa de gasapos. Esto conjuntamente con los resultados del efluente nos permite concluir que la eficiencia del proceso fue de aproximadamente 80% bajo las condiciones en que se trabajo.

---

## CONCLUSIONES

- Diferido de los biodigestores mencionados en la cronología de los mismos, se realizo una innovación en cuanto a los materiales de construcción accesorios, forma de alimentación, manejo de los residuos, tiempo de retención hidráulica , forma de controlar los parámetros que intervienen en el proceso etc, lo cual resulto positivo porque el/los productos obtenidos a través de los análisis se verifico que están acordes con la(s) normas, se pudo implementar un Biodigestor que funcionara entre 4 y 7 días de retención hidráulica, logrando que funcionara, y manteniéndose el régimen permanente a 4 días.
- La comparación de costos de operación con otro tipo de biodigestores, nos lleva a considerar que los ingresos de la venta de los productos obtenidos bajo las condiciones de operación establecidas permiten recuperar en un periodo de tiempo corto la inversión que se haga. Y queda como precedente sobre la factibilidad de uso de esta tecnología.
- El biogás generado en este tipo de equipos puede ser utilizado para cubrir necesidades energéticas de las explotaciones pecuarias o bien las de los productores o de la comunidad dependiendo de la cantidad generada y en función de los volúmenes de residuos tratados. Se ha estimado que para el tipo de residuos utilizados aquí se produce un promedio de 10 litros de biogás por kg de residuo tratado. Se tiene la oportunidad de disponer de una fuente energética alternativa no finita y que ofrece una sustitución de los combustibles fósiles minimizando el impacto ambiental que estos generan en la diversidad de procesos industriales donde participan.

La biomasa es un producto completamente inocuo (sin patógenos), aunque se produce en pocas cantidades es altamente competitivo con otro tipo de abonos sólidos (composta, vermicomposta, etc) por su contenido en macro y micro nutrientes le confiere a los suelos una vez que es aplicado mejoras físicas, químicas y biológicas, que permiten su recuperación, incremento de producción por superficie cultivada, control biológico de plagas dando cobertura con esto a la llamada agricultura orgánica.

- 
- Del análisis realizado al fertilizante liquido se desprende que cumple con las normas aplicables en contenido de macro y micronutrientes lo cual condiciona su venta una vez establecidas las formas de cómo serian las presentaciones de envasado para su ubicación en el mercado de consumo y usos.
- El Liquido Foliar tiene un potencial fertilizante elevado, dado que contiene macro y micronutrientes y un elevado porcentaje de materia orgánica mismos que necesitan las plantas y se puede utilizar para suelos empobrecidos

---

condicionando su recuperación en términos de tiempo, y teniendo contemplado una planificación para la rotación de cultivos y es una alternativa atractiva para la sustitución progresiva de los agroquímicos (fertilizantes sintéticos), mejorando las condiciones del suelo e incrementando el rendimiento por superficie cultivada contribuyendo de esta manera a la minimización del daño ecológico causado por los fertilizantes químicos.

## RECOMENDACIONES

- a) El fertilizante líquido se puede recomendar para cultivos intensivos y extensivos por que su relación de nutrientes y materia orgánica es muy favorable para recuperar floración, cuaje, cosecha, fertilización de sustratos utilizados para el desarrollo masivo de algunas especies de plantas (marcigos), además de que les brinda protección contra plagas tanto del suelo como la parte arbórea.
- b) Se recomienda el uso de los materiales utilizados en este trabajo por que el acero inoxidable brinda la debida protección contra la corrosión que le pueda suministrar el sustrato y su alto coeficiente de transferencia de calor para las condiciones térmicas requeridas y dada la funcionalidad de los accesorios utilizados
- c) Es recomendable que este proyecto quede como campo abierto para futuras investigaciones tomando como base las condiciones de operación bajo las que se trabajo para otros tipos de residuos y ver su efectividad y así tomarlo como punta de lanza para el tratamiento de los mal llamados residuos.
- d) Si bien el tiempo experimental fue corto, y los parámetros de control monitoreados fueron pocos, contemplar un trabajo conjunto y mas integral con una institución que tenga la infraestructura necesaria posibilita atacar de fondo el impacto ambiental que los residuos sólidos urbanos y pecuarios generan, condicionando así la no dependencia de tecnología importada que la mayoría de las veces no es aplicable a las necesidades reales del problema por eliminar para reforzar así la sustentabilidad, de este tipo de tecnología.

---

## GLOSARIO

**Antagónico:** Contrario, opuesto

**Arbórea:** Parte ramosa de las plantas.

**Bacterias aerobias:** Bacterias que proliferan solo con presencia de oxígeno

**Bacterias anaerobias:** Bacterias que proliferan únicamente en ausencia del oxígeno

**Bacterias mesofílicas:** Son bacterias anaerobias que destruyen los ácidos orgánicos, principalmente el ácido acético, para formar metano (CH<sub>4</sub>).

**Bacterias Termofílicas:** familia de bacterias cuyo ciclo biológico se lleva a cabo en forma óptima entre 55 y 60°C

**Biomasa:** Residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes y mejorador de suelos, que se obtiene como uno de los productos de la biodigestión anaerobia.

**Biogás:** Mezcla de gases que se obtiene a partir de la biometanación cuyos principales componentes son el metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

**Biometanación:** Fermentación anaeróbica de la materia orgánica en la que se produce biogás, quedando un residuo estabilizado (Biomasa).

**Buffer:** Es aquel que ante la adición de un ácido o base es capaz de reaccionar oponiendo la parte de componente básica o ácida para mantener fijo el pH

**Celulosa:** Polímero biológico formado por moléculas de glucosa, material básico de las plantas fibrosas.

**Corrosión:** Se define como el deterioro de un material a consecuencias de un ataque electroquímico.

**Cromatografía de gases:** Es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases líquida y gas, de esta forma se puede cuantificar los componentes del biogás.

**DDT:** (Dicloro Difenil Tricloroetano) ES un compuesto orgánico clorado principal componente de los insecticidas.

**Degradación:** proceso mediante el cual las moléculas de carbohidratos, lípidos y proteínas, se descomponen en compuestos más simples aeróbica o anaerobicamente.

**Digestor:** Tanque o pozo donde ocurre la fermentación anaerobia

**Excreta:** Desecho orgánico proveniente de algún animal o humano después de haber consumido algún alimento y ser digerido.

---

**Fermentación anaeróbica:** Proceso microbiológico que llevan a cabo las bacterias anaerobias en ausencia de oxígeno.

**Hidroponía:** Método de cultivo que se lleva a cabo utilizando un caldo rico en nutrientes en lugar de tierra.

**Homeostasia:** Conservación del equilibrio dentro del ecosistema, que le permita seguir siendo autorregulado y estable.

**Inóculo:** Material que activa y mantiene un proceso microbiológico.

**Mesofilico:** Temperatura óptima de crecimiento microbiano en procesos biológicos anaerobios comprendida entre 35 °C y 45 °C.

**Metano:** Es el hidrocarburo más simple. Está formado por un átomo de carbono y 4 átomos de hidrogeno (CH<sub>4</sub>). Es un gas combustible, incoloro, e inodoro; es el principal componente del gas natural.

**Mixotrópico:** termino que describe organismos (usualmente algas, bacterias), capaces de sacar energía metabólica tanto de la fotosíntesis como de fuentes externas.

**Nitrógeno total(TNK):** Es la cantidad de nitrógeno que se obtiene después de la digestión de materia orgánica con ácido sulfúrico.

**Patógenas:** Bacterias que causan enfermedades tanto a animales como al hombre (Ej. Salmonella).

**pH:** Medida de acidez o alcalinidad. Se define como el logaritmo del recíproco de la concentración del ion hidrogeno. Un pH de 7 se considera neutro, menor que 7 ácido y mayor que 7 alcalino.

**Porrón (Garrafón):** recipiente generalmente de plástico, de forma cuadrada usado para el transporte de líquidos.

**Psicrofilo:** son organismos capaces de vivir a temperaturas por debajo de los 5 °C. A veces se los llama criófilos (amantes del hielo). Sus temperaturas óptimas de desarrollo se encuentran entre 4-15 °C.

**Purga:** Limpiar y purificar una cosa, eliminar lo que se le considera inadecuado para el proceso

**Purines:** Desechos líquidos producidos por los animales (orina)

**Rastrojos:** Conjunto de restos de tallos y hojas que quedan en el terreno tras cortar un cultivo

**Régimen permanente:** No existe un punto donde el régimen cambia.

---

**Relación carbono/nitrógeno (C/N):** Cociente de los pesos de carbono y nitrógeno total presentes en la materia orgánica y que juega un rol específico en la biodegradación de esta.

**Residuos pecuarios:** Son aquellos residuos que provienen de los desechos orgánicos producidos por los animales de ganado

**Resiliencia:** es un conjunto de atributos y habilidades innatas para afrontar adecuadamente situaciones adversas

**Salmuera:** Es agua con una alta concentración de sal disuelta (NaCl)

**Sedimentación:** Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo.

**Sinérgico:** Es aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente.

**Sustrato:** Nutrientes que se proporcionan a un proceso biológico para alimentación de los microorganismos que lo llevan a cabo. (En un digestor, sería la carga diaria de materia orgánica).

**TRH:** Tiempo de retención hidráulica

**Termofilico:** temperatura a la cual se lleva a cabo un proceso biológico anaerobio cuyos valores están comprendidos entre 55-60 °C. Es recomendable cuando los volúmenes de residuos orgánicos a estabilizar son muy grandes.

**Termopozo:** Están hechos de un material térmico conductor que sirve para separar el termómetro del medio emisor de una señal.

**Transición:** Es la acción y efecto de pasar de un modo de ser o estar, a otro muy distinto del anterior. Representa un cambio de un estado a otro.

---

## APENDICE

### 1) NMX-AA-028-SCFI-2001 <sup>(18)</sup>

#### ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)

##### Procedimiento

###### Método yodométrico

La determinación del OD inicial se realiza por medio del método yodométrico de azida modificado, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (APENDICE 2).

###### Determinación del OD final

Después de 5 días de incubación determinar el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella de Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

###### CÁLCULOS

Calcular la DBO<sub>5</sub>

Cuando no se utilice inóculo ni diluciones:

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = OD_i \text{ mg/L} - OD_5 \text{ mg/L}$$

Donde:

OD<sub>i</sub> mg/L es el oxígeno disuelto inicial, y

OD<sub>5</sub> mg/L es el oxígeno disuelto al quinto día.

Cuando se emplea una dilución:

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = \frac{OD_i \text{ mg/L} - OD_5 \text{ mg/L}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

Cuando se utiliza inóculo

Sin dilución:

$$DBO_5 \text{ (m/L)} = (OD_i \text{ mg/L} - OD_5 \text{ mg/L}) - \frac{C_1 (B_1 - B_2) (V_t)}{C_2 (V_m)}$$

Con dilución:

$$DBO_5 \text{ (m/L)} = \left[ (OD_i \text{ mg/L} - OD_5 \text{ mg/L}) - \frac{C_1 (B_1 - B_2) (V_t)}{C_2 (V_m)} \right] p$$

Donde:

B<sub>1</sub> es el OD del inóculo antes de la incubación, en mg/L;

B<sub>2</sub> es el OD del inóculo después de la incubación, en mg/L;

C<sub>1</sub> es el volumen de inóculo en la muestra;

---

$C_2$  es el volumen de inóculo en el inóculo control;  
 $V_t$  es el volumen total del frasco Winkler, y  
 $V_m$  es el volumen de muestra sembrada.  
Expresar los resultados como  $CDBO_5$  si se inhibe la nitrificación.  
Reportar los resultados en mg/L de  $DBO_5$  con dos cifras significativas con la precisión (media, desviación estándar) correspondiente.

## 2) NMX-AA-012-SCFI-2001 <sup>(18)</sup>

### **ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-012-1980)**

#### PROCEDIMIENTO

Método Yodométrico  
Determinación de OD

- Para fijar el oxígeno, adicionar a la botella tipo Winkler que contiene la muestra (300 mL), 2 mL de sulfato manganoso
- Agregar 2 mL de la disolución alcalina de yoduro-azida.
- Tapar la botella tipo Winkler, agitar vigorosamente y dejar sedimentar el precipitado.
- Añadir 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, volver a tapar y mezclar por inversión hasta completa disolución del precipitado.
- Titular 100 mL de la muestra con la disolución estándar de tiosulfato de sodio 0,025 M agregando el almidón hasta el final de la titulación, cuando se alcance un color amarillo pálido.

Continuar hasta la primera desaparición del color azul.

#### **CÁLCULOS**

Método yodométrico

$$OD \text{ mg/L} = (M \times \text{mL de Tiosulfato} \times 8 \times 1\,000) / 98,7$$

donde

M es la molaridad de tiosulfato;

8 son los gramos/ equivalente de oxígeno, y 98,7 es el volumen corregido por el desplazamiento de los reactivos agregados a la botella tipo Winkler.

Reportar los resultados en mg/L. de OD con la precisión correspondiente.



---

### 3) NMX-AA-030-SCFI-2001 <sup>(18)</sup>

## **ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-030-1981)**

### PROCEDIMIENTO

- Método de reflujo abierto / método de titulación
- Para niveles mayores de 50 mg/L de demanda química de oxígeno:
- Transferir una muestra de 50 mL (o dilución) al matraz Erlenmeyer de 500mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (aproximadamente 1 g, la relación de sulfato mercúrico/cloruros debe ser 10 a 1) y algunas perlas de vidrio. Adicionar una alícuota de 25,0 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,041 7 M y mezclar mediante un movimiento circular. Se pueden utilizar cantidades menores de muestra conservando la proporción de los reactivos.
- Conectar el matraz erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.
- Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogeneizar.
- Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 h a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 mL de agua.
- Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a temperatura ambiente.
- Agregar 3 gotas de disolución Indicadora de 1,10 fenantrolina como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M . Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.
- Llevar simultáneamente un testigo preparado con agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.
- Para niveles menores de 5 mg/L de demanda química de oxígeno:
- Transferir una muestra de 50 mL al matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (aproximadamente 1 g) y algunas perlas de vidrio. Añadir 25,0 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,004 17 M (ver inciso 4.2.10) y mezclar mediante un movimiento circular.
- Conectar el matraz Erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.
- Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogenizar.
- Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante dos horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 mL de agua.
- Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a la temperatura ambiente.
- Agregar 3 gotas de disolución indicadora de 1,10-fenantrolina como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,025 M (ver inciso 4.2.13). Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.
- Llevar simultáneamente un testigo preparado con 50 mL de agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.

---

## CÁLCULOS

Método de reflujo abierto / método de titulación

La demanda química de oxígeno, expresada en mg O<sub>2</sub>/L, se calcula con la ecuación 2.

$$DQO = \frac{V_1 - V_2 \times M \times 8\,000}{V_3} \text{ Ecuación 2}$$

Donde,

V<sub>1</sub> es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo;

V<sub>2</sub> es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra;

V<sub>3</sub> es el volumen en mL de la muestra, y

M es la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

### 4) NMX-AA-034-SCFI-2001 <sup>(18)</sup>

## ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LAS NMX-AA-020-1980 Y NMX-AA-034-1981)

### PROCEDIMIENTO

Preparación de cápsulas de porcelana

- Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C ± 50°C, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min.
- Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
- Pesar las cápsulas y registrar los datos.
- Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como peso G.

Preparación de crisoles Gooch

- Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.
- Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C ± 50°C, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min.
- Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
- Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como G3.

Preparación de la muestra

- Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.

Medición para sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles(SVT) Determinación para sólidos totales (ST):

- En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado.
- Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante (ver inciso 9.1.4). Llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103°C-105°C.
- Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G1.

- Determinación para sólidos totales volátiles(SVT):
- Introducir la cápsula conteniendo el residuo (ver inciso 9.4.4) a la mufla a  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 15 min a 20 min, transferir la cápsula a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 min, sacar la cápsula, enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G2.
- Cuando se determinen muestras por duplicado o triplicado, los resultados como máximo pueden tener una variación del 5 por ciento del promedio de los resultados.

Sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos totales (SST)

- Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST):

- Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.
- Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío (ver inciso 9.2), lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.
- Suspendir el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C}$  a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 1 h aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante registrar como peso G4.
- Determinación de sólidos suspendidos totales (SST):
- Introducir el crisol que contiene el residuo (ver inciso 9.5.3) y el disco a la mufla, a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 15 min a 20 min. Sacar el crisol, de la mufla e introducirlo a la estufa a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  durante 20 min aproximadamente. Sacar y enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G5.

Sales disueltas totales (SDT)

- La determinación de las sales disueltas totales es por diferencia entre los sólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

## CÁLCULOS

Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = (G1 - G) * 1\ 000 / V$$

Donde:

ST son los sólidos totales, en mg/L;

G1 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg;

G es el peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante, y

V es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$SVT = (G1 - G2) * 1\ 000 / V$$

donde:

SVT es la materia orgánica total, en mg/L;

G2 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en mg, y

V es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como

Sigue:

$$SST = (G4 - G3) * 1\ 000 / V$$

Donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L;

G3 es el peso del crisol con el disco a peso constante, en mg

G4 es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg

V es el volumen de muestra, en mL.

## 5) NMX-AA-026-SCFI-2001 <sup>(18)</sup>

### ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-026-1980)

#### PROCEDIMIENTO

- Limpiar el equipo de destilación antes de utilizarlo, destilando una mezcla (1:1) agua-disolución hidróxido - tiosulfato de sodio (ver inciso 4.20) hasta que el destilado esté libre de amonio. Repetir esta operación cada vez que el equipo se vaya a utilizar, si no se emplea en intervalos de menos de 4 h también se requiere realizar esta operación.
- Selección de volumen de muestra: Determinar el volumen de la muestra de acuerdo a la tabla 1, si es necesario, ajustar el volumen aproximadamente 500 mL y neutralizar a pH 7. Colocar la muestra medida en un matraz Kjeldahl de 800 mL.

**TABLA.- Selección del volumen de muestra**

Cantidad de nitrógeno en la muestra (mg / L)	Volumen de muestra necesario (mL)
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50,0
50- 100	25,0

- Tomar una muestra dependiendo de las concentraciones esperadas, de acuerdo a la tabla diluir con agua hasta 500 mL. Preparar un blanco con 500 mL de agua y darle el mismo tratamiento que a la muestra como sigue:
- Añadir 25 mL de la disolución amortiguadora de boratos (ver inciso 4.15) y ajustar el pH a 9,5 con disolución de hidróxido de sodio 6 N utilizando potenciómetro o papel indicador para verificar. Transferir la disolución a un matraz Kjeldahl y añadir unas cuentas de vidrio o perlas de ebullición.
- Conectar el matraz Kjeldahl al bulbo del aparato de destilación, destilar la muestra cuidando que la temperatura del condensador no pase de 302 K (29°C), recolectando el condensado con la punta del tubo del refrigerante sumergido en 50 mL de la disolución amortiguadora de boratos.
- La destilación se completa cuando se hayan recolectado 300 mL de destilado aproximadamente, incluyendo los 50 mL de la disolución amortiguadora de Boratos con la disolución mezcla de indicadores .
- Retirar el matraz colector y titular con solución de ácido sulfúrico 0,02 N hasta que la solución vire de un verde esmeralda a morado.
- Nitrógeno orgánico
- Enfriar el residuo contenido en el matraz Kjeldahl. Digestión: Adicionar cuidadosamente 50 mL de reactivo para la digestión (ver inciso 4.19) al matraz de destilación y mezclar perfectamente. Añadir unas cuentas de vidrio o piedras de ebullición. Si se encuentran presentes grandes cantidades de materia orgánica libre de nitrógeno adicionar 50 mL de reactivo de digestión por cada gramo de materia sólida en la muestra. Mezclar y calentar a ebullición bajo una campana de extracción, (eliminar los vapores de SO<sub>3</sub>) hasta que el volumen de la disolución se reduzca aproximadamente entre 25 mL y 50 mL y se observe gran desprendimiento de vapores blancos (estos vapores pueden oscurecerse cuando la muestra presenta grandes cantidades de materia orgánica).

- Continuar la digestión durante 30 min más. En este período, la disolución cambia de turbia hasta ser transparente e incolora o con una ligera coloración amarillo pálido.
- Durante la digestión el matraz Kjeldahl debe permanecer inclinado. Enfriar el matraz y su contenido, diluir a 300 mL con agua y mezclar.
- Cuidadosamente añadir 50 mL de la disolución de hidróxido-tiosulfato de sodio, para formar una capa alcalina en el fondo del matraz, conectar el matraz a un equipo de destilación y sumergir la punta del condensador en un matraz que contenga 50 mL de disolución de ácido bórico y la mezcla de indicadores por abajo del nivel de esta disolución. Agitar hasta asegurarse que está completamente mezclado, el pH de la disolución debe ser mayor a 11,0.
- Destilación Destilar y coleccionar aproximadamente 200 mL de destilado, no permitir que la temperatura en el condensador suba por arriba de 29°C. Cuando se alcance un volumen aproximado de 250 mL en el matraz coleccionador del destilado, sacar la punta del condensador del destilado sin retirarlo del matraz y continuar la destilación durante 1 min o 2 min para limpiar el condensador.
- Titulación del destilado Titular el volumen destilado con disolución valorada de ácido sulfúrico 0,02 N (ver inciso 4.17) hasta el cambio del indicador de verde esmeralda a morado.
- Blanco

Llevar un blanco durante todos los pasos del método.

### CÁLCULOS

Usar la siguiente ecuación para calcular la concentración de nitrógeno total (Nt):

$$\text{mg Ntk} / \text{L} = (\text{A}-\text{B}) (\text{N}) (14) (1\ 000) / \text{V}$$

$$\text{mg NH}_3\text{-N} / \text{L} = (\text{A}-\text{B}) (\text{N}) (14) (1\ 000) / \text{V}$$

$$\text{mg N-ORG} / \text{L} = (\text{A}-\text{B}) (\text{N}) (14) (1\ 000) / \text{V}$$

$$\text{mg Ntk} / \text{L} = \text{mg NH}_3\text{-N} / \text{L} + \text{mg N-ORG} / \text{L}$$

Donde:

A son los mL de ácido sulfúrico gastados en la titulación de la muestra;

B son los mL de ácido sulfúrico gastados en el blanco;

N es la normalidad del ácido sulfúrico;

V son los mL de muestra, y

14 es el peso equivalente del nitrógeno.

## 6) NMX-AA-029-SCFI-2001<sup>(18)</sup>

### ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA- 029-1981)

#### PROCEDIMIENTO

Método ácido vanadomolibdofosfórico

- Ajustar el pH de la muestra. Si la muestra tiene un pH mayor a 10, adicionar una gota de fenolftaleína (ver inciso 4.1.3) a 50,0 mL de la muestra y después eliminar el color rosa con una disolución de ácido clorhídrico (1:1) (ver inciso 4.3.5), antes de diluir a 100 mL.
- Remoción del color de las muestras. Remover el exceso de color en las muestras por medio de la adición de 200 mg de carbón activado a una muestra de 50 mL en un matraz Erlenmeyer y agitar por 5 min, posteriormente filtrar para remover el carbón activado. Comprobar los fosfatos de cada lote de carbón activado.
- Desarrollo del color en la muestra. Tomar una alícuota que contenga de 0,05 mg a 1,0 mg de fósforo, en un matraz volumétrico de 50 mL. Añadir 10 mL de la disolución reactivo

---

vanado-molibdato (ver inciso 4.3.8) y diluir hasta la marca con agua. Preparar un blanco usando una cantidad de agua equivalente a la alícuota de la muestra. Después de 10 min o más, medir la absorbancia de una muestra contra un blanco a una longitud de onda de 400 nm a 490 nm, dependiendo de la sensibilidad deseada. Los intervalos de concentración para diferentes longitudes de onda son:

**TABLA.- Longitud de onda**

Intervalo de P mg/L	Longitud de onda nm
1,0 - 5,0	400
2,0 - 10	420
4,0 - 20	470

El color es estable por días y su intensidad no se ve afectada por las variaciones de la temperatura ambiente.

### **CÁLCULOS**

Calcular la concentración de la muestra por medio de la ecuación obtenida de la curva de calibración y que es representada por la siguiente ecuación:

$$Y = mX + b$$

Donde:

m es la pendiente;

b es la ordenada al origen;

Y es la absorbancia, y

X es la concentración (mg P/L).

En caso de haber dilución de la muestra a lo largo del desarrollo del método (digestión y alícuota de muestra), utilizar la siguiente ecuación:  $\text{mg P/L} = \text{concentración} \times \text{Factor de dilución}$

Reportar los resultados en mg P/L con dos décimas, con la precisión correspondiente.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Tesis estudio preliminar sobre la posibilidad de obtener biogás a partir de desechos hortícolas, 1996, ESIQIE
- (2) Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Nuria Martí. Dissertation.com. Bacaraton
- (3) Anaerobic Fermentation of Agricultural residues-potential for improvement and implementation. Final Report. W.J. Jewell, et al. National Technical Information Service, springfield, Va, Usa.
- (4) Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías, CRANE, McGRAW-HILL 1992
- (5) Tablas termodinámicas academia de fisicoquímica ESIQIE
- (6) Comparison of two Continuous Fungal Bioreactors for Posttreatment of anaerobically Pretreated Weak black Liquor From Kraft Pulp Mills Poggi-Varaldo Héctor M. Cinvestav IPN Department of BioTechnology and Bioengineering, P.O box 14.740 07000 México
- (7) Galicia R.E.A. Estudio sobre la obtención de metano en digestión de estiércol bovino, Tesis profesional U.N.M.A.M
- (8) Proyecto terminal aprovechamiento de biogás en el ex tiradero de San Lorenzo Tezonco. México 1990.UAM-A
- (9). Mandujano M.I 1981 Biogás Energía y fertilizantes a partir de los desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía Cuernavaca Morelos México.

---

(10) Fuente: Compañía auxiliar de empresas eléctricas brasileñas CAEEB.

## BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

(11) [www.inta.gob.ni/guias/cebolla\\_mip.pdf](http://www.inta.gob.ni/guias/cebolla_mip.pdf)

(12) [www.astm.org](http://www.astm.org)

(13) <http://www.steren.com/catalogo/interior3.asp?pdto=TEMP-08E>

(14) <http://www.steren.com/catalogo/interior3.asp?pdto=TER-100>

(15) <file:///F:/tesis%20esime/internet/articulo04.htm>

(16) [www.utaoundation.org/publications/botero&preston.pdf](http://www.utaoundation.org/publications/botero&preston.pdf)

(17) [www.pifsv.org.mx/Boletines/FolletoBiofert.pdf](http://www.pifsv.org.mx/Boletines/FolletoBiofert.pdf)

(18) [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

(19) [www.seed.slb.com](http://www.seed.slb.com)