

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

“CAMPUS ARAGON”

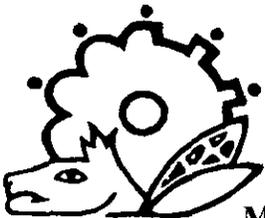
**“APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGANICOS
POR MEDIO DE BIODIGESTORES ANAEROBICOS
COMO ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO DE
LAS COMUNIDADES RURALES EN CHALCO; ESTADO
DE MÉXICO”.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN PLANIFICACIÓN
PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO
P R E S E N T A N:**

**HUMBERTO AGUILAR REYES
MARCO ANTONIO TORRES DIAZ**

**ASESOR :
M. EN C. SIMON DAVID AVILA PACHECO**



MEXICO

287271

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECEMOS ESPECIALMENTE

AL PROFESOR SIMÓN DAVID

Por su colaboración, dedicación y por cedernos parte de su tiempo en la asesoría de este trabajo.

AL MAESTRO JESÚS ARIAS CHÁVEZ

Por su apoyo desinteresado, por compartirnos sus conocimientos y por la valiosa información que nos proporcionó para la elaboración de este trabajo.

A SILVIA

Por su valiosa ayuda, cooperación y por su vocación de servicio que nos proporcionó en la elaboración de este trabajo.

A LA GENERACIÓN 94-97

Por los momentos inolvidables que pasamos durante la carrera.

Sinceramente
Marco Antonio y Humberto.

AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE MARGARITA REYES ZAVALA

A quien formó parte importante de mi ser, en el desarrollo de mi formación profesional, que con su apoyo incondicional y económico, me supo transmitir su fortaleza y optimismo. A ti que sigues viviendo dentro de mí y que cambiaría todo lo que tengo por tenerte junto a mí, en este momento tan importante en que culmino una etapa más de mi vida.

A MI PADRE ODILÓN AGUILAR ROMERO

Por su apoyo incondicional que me dio; Por su sacrificio y desinterés, así como sus consejos y valores que fueron importantes en el desarrollo de mi carrera.

A MIS HERMANOS

Blanca, Odilón, Enrique y Eva, por impulsarme día a día en mi formación profesional, a quienes admiro y aprecio mucho.

A MI ESPOSA FRESS CAMPOS GARCÍA

Por su amor y apoyo que me brinda incondicionalmente para seguir superándome profesionalmente pero sobre todo como ser humano.

A MIGUEL CARRILLO CARRILLO

Por su apoyo y confianza que deposito en mí.

A MIS AMIGOS

Moisés, Rene , Ricardo, Víctor, Hugo, Lino, Héctor, Marco Antonio, Verónica, Maricela, Ana Lilia, por los momentos alegres que pasamos juntos.

HONORBERTO AGUILAR REYES

A G R A D E C I M I E N T O S

A DIOS

Por el don de la vida, por el amor de padre con que guía nuestra existencia, por permitirme lograr esta meta y por las bendiciones que me das a cada día.

A MIS PADRES

Manuel y Graciela por su apoyo, comprensión, sacrificio, desinterés. Por las lecciones, consejos y valores que me infundieron a través de mi carrera los cuales guían mi vida. Pero sobre todo por su amor de padres.

A MIS HERMANOS

Liliana, Juan y Rogelio por los momentos felices, por su apoyo y comprensión. Pero sobre todo por ser mis hermanos.

A LUZ

Por la ayuda, el desinterés, comprensión, amor, cariño y por ser mi apoyo e inspiración en los momentos tristes y felices de nuestra vida.

A MIS AMIGOS

Victor Hugo, Lino, Raúl, Hector Miguel, Suli, Hector, Maria Elena y Humberto, por los momentos que compartimos dentro y fuera del salón de clases.

A LETY Y ANA

Por su valiosa colaboración y ayuda en la realización de este trabajo.

A todos ustedes mil gracias
Sinceramente
Marco Antonio Torres Díaz

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	1
1. JUSTIFICACION.....	4
2. OBJETIVOS.....	7
GENERAL.....	7
PARTICULARES.....	7
3. METODOLOGIA.....	9
CAPITULO 1.	
1. MARCO GENERAL	
1.1 PROBLEMATICA DEL SECTOR RURAL.....	11
1.2 LA IMPORTANCIA DE LA ECOLOGIA EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE.....	20
1.3 POTENCIALIDADES DE LOS BIODIGESTORES COMO COADYUVANTES A LA SOLUCION DE LA PROBLEMATICA.....	23
1.3.1 SITUACION DE LOS DESECHOS ORGANICOS EN MEXICO.....	27
1.3.1.1 USO DE LOS ESTIERCOLES.....	28
1.3.1.2 USO DE ABONOS VERDES.....	30
1.3.1.3 USO DE LOS RESIDUOS VEGETALES.....	31
1.3.1.4 USO DE AGUAS NEGRAS.....	31
1.3.1.5 USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....	32
1.3.1.6 USO DE BASURAS URBANAS.....	32
1.3.1.7 USO DE PLANTAS ACUATICAS.....	33
1.3.2 BENEFICIOS COMPARATIVOS CON OTRAS FUENTES.....	36
CAPITULO 2	
2. ANTECEDENTES SOBRE LOS BIODIGESTORES	
2.1 CONCEPTO.....	40
2.2 DATOS HISTORICOS	42
2.3 UTILIDAD DE LOS BIODIGESTORES.....	45
2.4 PROCESO DE BIODIGESTION.....	46
2.4.1 PRINCIPIOS QUIMICOS DE FERMENTACION ANAEROBICA.....	49
2.5 MANEJO DE LOS BIODIGESTORES.....	50
2.5.1 DIGESTORES DE LABORATORIO VS. MANEJO REAL.....	51
2.5.2 MATERIA PRIMA UTILIZADA.....	53

2.5.3 CARGA Y TIEMPO DE RESIDENCIA Y RETENCION.....	55
2.5.4 TEMPERATURA.....	58
2.5.5 pH.....	59
2.5.6 RELACION CARBONO/NITROGENO.....	60
2.5.7 OTROS NUTRIENTES, INHIBIDORES, ETC.....	61

CAPITULO 3

3 TIPO Y TAMAÑO DE LOS BIODIGESTORES, SEGUN USOS

3.1 TIPO Y FORMA DE LOS BIODIGESTORES.....	63
3.1.1 CONTINUO.....	64
3.1.2 SEMICONTINUO.....	64
3.1.3 DISCONTINUO O DE CARGA POR LOTE.....	64
3.2 BIODIGESTOR TIPO CHINO.....	65
3.2.1 DESCRIPCION.....	65
3.2.2 VENTAJAS.....	66
3.2.3 DESVENTAJAS.....	67
3.3 BIODIGESTOR TIPO GUATEMALA.....	68
3.3.1 DESCRIPCION.....	68
3.3.2 VENTAJAS.....	69
3.3.3 DESVENTAJAS.....	70
3.4 BIODIGESTOR TIPO HINDU.....	71
3.4.1 DESCRIPCION.....	71
3.4.2 VENTAJAS.....	72
3.4.3 DESVENTAJAS.....	73
3.5 BIODIGESTOR TIPO XOCHICALLI.....	73
3.5.1 DESCRIPCION.....	73
3.5.2 VENTAJAS.....	74
3.5.3 DESVENTAJAS.....	75
3.6 DIGESTORES COMPLEJOS.....	76
3.6.1 DESCRIPCION.....	76
3.6.2 LIMITANTES.....	76

CAPITULO 4

<u>4 IMPORTANCIA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS</u>	77
4.1 AGUA.....	78
4.2 NUTRIENTES.....	79

4.3	ENERGETICOS.....	80
4.4	EXPERIENCIA EN EL USO DE LOS PRODUCTOS DE LA DIGESTION ANAEROBICA.....	81

CAPITULO 5

5 DIGESTOR PROPUESTO PARA EL MUNICIPIO DE CHALCO ESTADO DE MEXICO

5.1	DIAGNOSTICO GENERAL DE LA REGION.....	85
5.1.1	LOCALIZACION.....	86
5.1.2	DIVISION POLITICA.....	86
5.1.3	CLIMA.....	87
5.1.4	RELIEVE.....	87
5.1.5	HIDROGRAFIA.....	87
5.1.6	SUELOS.....	88
5.1.7	AGRICULTURA.....	89
5.1.8	GANADERIA.....	90
5.1.9	TENENCIA DE LA TIERRA.....	91
5.1.10	COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.....	92
5.1.11	ASPECTOS POBLACIONALES.....	92
5.2	JUSTIFICACION DEL TIPO DE DIGESTOR PROPUESTO.....	93
5.2.1	DIGESTOR XOCHICALLI.....	94
5.2.2	MATERIAS PRIMAS A UTILIZAR.....	95
5.2.3	CALCULOS REQUERIDOS PARA EL BIODIGESTOR.....	96
5.2.4	MANEJO.....	100
5.3	DESCRIPCION DE LA INVERSION.....	101
5.3.1	INVERSION PARA LA FABRICACION.....	102
5.4	BENEFICIOS.....	107
5.4.1	SANITARIOS.....	108
5.4.2	AMBIENTALES.....	109
5.4.3	ECONOMICOS.....	111

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	114

BIBLIOGRAFIA.....	115
-------------------	-----

ANEXO.....	120
------------	-----

INTRODUCCIÓN

En México, se da mayor apoyo a las actividades agrícolas acordes con el sistema neoliberal de libre mercado y de globalización, que se ha dado a nivel mundial, dejando de lado aquellas actividades que no representan un crecimiento sobresaliente en la economía.

Las comunidades rurales, representan la mayoría del territorio nacional; y donde se tiene un potencial de recursos orgánicos, los cuales muchas veces no son aprovechados adecuadamente. Uno de estos recursos son los desechos biodegradables, provenientes de las actividades cotidianas que se realizan en dichas comunidades como son: la agricultura y la ganadería.

Bajo este contexto, es necesario planteamos también acerca de cómo las relaciones sociales de producción son importantes para el desarrollo de la actividad económica, es decir con motivo de la producción, distribución y circulación de los bienes que satisfacen necesidades humanas, dado que las comunidades rurales para que puedan generar un excedente productivo, necesitan modificar sus medios de producción a través de la innovación y mejoramiento de dichos medios. Una forma de lograr esto, es con la implementación de biodigestores, los cuales pueden influir en este proceso para obtener un beneficio tanto a nivel familiar como económico. Además, es necesario fomentar la organización dentro de las mismas comunidades a fin de hacer frente a la situación tan difícil por la que atraviesan.

Los desechos provenientes de las actividades agropecuarias, en su mayoría son un estorbo para quienes se dedican a ellas, ocasionando el mal uso de estas, dado que son vertidas en los campos de cultivo sin ningún tratamiento anterior. Es por ello que se tiene la necesidad de plantear soluciones alternativas, que permitan el aprovechamiento de recursos biodegradables; una de estas, es el uso de la digestión anaeróbica la cual es propuesta en el presente trabajo.

En esta investigación se realiza el estudio de los biodigestores anaerobicos, como alternativa para el desarrollo de las comunidades rurales en el Municipio de Chalco, Estado de México, dado que en este municipio se tienen características similares en sus zonas rurales.

En primer lugar, se analiza la situación del sector rural en México y la importancia de la *ecología como un proceso de desarrollo de las comunidades de manera sostenible*, los beneficios comparativos con otras fuentes: agua, nutrientes, energía; así como sus efectos en aspectos ambientales y económicos. A partir de ésta comparación se determina el porqué un biodigestor puede ser viable en las comunidades rurales.

Para poder establecer un tipo de biodigestor adecuado para el Municipio de Chalco, Estado de México, es necesario tener una idea clara de cuántos tipos de biodigestores existen en el mundo, así como su forma de manejo. Bajo este contexto se estudiarán los biodigestores de tipo Chino, Hindú, Guatemala, Xochicalli y complejos (es importante tener en cuenta que el proceso de biodigestión anaerobica es el mismo en términos generales).

Por esta razón se estudia su forma de operación, métodos de manejo, ventajas y desventajas, seguridad, así como sus costos y beneficios. Para todo esto es necesario conocer el concepto de fermentación anaerobica, que se lleva a cabo dentro de un biodigestor.

Como lo cita Young, Marco "Un biodigestor es un reactor donde se lleva acabo una *dísgestión o fermentación*; es un sistema cerrado, cuyo interior es *anaérobio* (carente de oxígeno) y dentro del cual se deposita material orgánico a fermentar...".

El material orgánico de desecho proveniente de la actividad humana, animales, y vegetales, que son generados en las comunidades rurales, se aprovechan

eficientemente con un biodigestor obteniendo beneficios como son: generación de metano (gas), efluentes que son utilizados como fertilizantes y alimentos para el ganado así como para algunas actividades de acuicultura; las cuales se estudian en la presente investigación.

1. JUSTIFICACION

En las últimas décadas, se ha acrecentado el interés por parte de los gobiernos de todo el mundo en obtener el equilibrio entre el medio ambiente y las relaciones sociales de producción, debido a que se están agotando cada vez con mayor rapidez y en forma descontrolada los recursos naturales renovables y no renovables, a consecuencia de las distintas actividades tanto industriales como comerciales que se dan en el sistema de libre mercado o economía capitalista, cuyo afán principal es la obtención de ganancia, sin importar el equilibrio ecológico y la degradación del planeta.

De esta manera hay que fomentar el desarrollo equilibrado del medio ambiente y las actividades humanas las cuales proporcionan un beneficio reciproco entre ambas. Una opción para este desarrollo es el proceso de la digestión anaerobica llevada a cabo en biodigestores que operan con desechos orgánicos de animales y vegetales.

El interés por lo biodigestores surge, debido a la escasez cada vez mayor de energía, además de que son una tecnología apropiada para los países en desarrollo, dado que disminuyen los problemas sanitarios y se puede dar un manejo adecuado a los desechos orgánicos provenientes de las actividades agropecuarias, obteniendo fuentes alternas de energía como lo es el gas metano, útil para la cocción de alimentos, iluminación y calefacción, así como para calentadores de agua, entre otros; otro producto que se obtiene también, son los efluentes que se utilizan como biofertilizantes de muy buena calidad para fines agrícolas, además de ser usados como complemento alimenticio en las dietas de algunas especies pecuarias (porcinos, gallinas, bovinos, etc.), y prácticas de acuicultura.

Actualmente las investigaciones en biodigestión anaerobica, se realizan primordialmente en la India y Centroamérica. En la década de los 50's se desarrollaron modelos de biodigestores simples. En México se han venido dando estas

investigaciones desde la década de los 60's, implementándose en 1972 un biodigestor anaerobico en Ozumba, Edo. de México (Arias, 1972); las investigaciones al respecto han concluido que los biodigestores son una alternativa para el manejo ecológico y el desarrollo de las actividades agropecuarias.

Bajo esta perspectiva, es necesario dar un panorama general a las comunidades rurales del país, acerca del beneficio que pueden obtener al tratar los desechos animales y vegetales a través de un biodigestor, colaborando de esta manera con su desarrollo, así como, previniendo la contaminación por desechos animales y vegetales, evitando el gran consumo de leña, carbón, etc. Además la utilización de biodigestores representa la ventaja adicional de promover un recurso renovable. Así, se pretende colaborar con los pequeños productores en los grandes problemas que afrontan, como son: la escasez de alimentos, empobrecimiento de los suelos, los altos costos de fertilizantes químicos y el uso incontrolable de estos (degradando el suelo), dando margen a un mejor aprovechamiento agrícola y ganadero. Simultáneamente, obtendrán mejoras sanitarias, de salud y económicas en virtud de la recuperación de energía, nutrientes, agua y otras materias primas que se desperdician a través de los llamados desechos orgánicos.

Si consideramos que en México aproximadamente el 50% del estiércol producido se desperdicia por mal manejo e inadecuada aplicación, y por otro lado los bajos niveles de vida que tienen los campesinos a causa de la adquisición de fertilizantes químicos , así como fuentes de energía (gas, gasolina), que representan un gasto importante para el desarrollo de las comunidades rurales, entonces esto hace necesario promover el uso de esta tecnología que permite coadyuvar al desarrollo de estas comunidades.

En el municipio de Chalco, existen comunidades rurales que se dedican a actividades agropecuarias, generando estas, una cantidad importante de desechos orgánicos a los cuales se les da un uso inadecuado, provocando un mal aprovechamiento de estos.

Todo esto implica que se debe aplicar un método que permita la reutilización de los desechos orgánicos de animales y vegetales, y lo más importante, que sea adaptable a las condiciones socioeconómicas de nuestro país, donde se respete la cultura y las leyes naturales, lográndose la utilización redituable de estos residuos orgánicos, colaborando así a una mejor planificación en el proceso de desarrollo en las comunidades rurales.

2. OBJETIVOS

GENERAL

Proponer una alternativa de desarrollo a las comunidades rurales, en cuanto al beneficio que se puede obtener, al tratar los desechos animales y vegetales, a través de un biodigestor anaerobico, dando así un manejo holístico a estos; colaborando de esta manera a la descontaminación por residuos orgánicos y por lo tanto mejorar las condiciones de vida de la población rural promoviendo el desarrollo en el municipio de Chalco, Estado de México.

PARTICULARES

1. Conocer la problemática por la que atraviesa nuestro país en la actualidad, y además entender la importancia de la ecología en el desarrollo de las comunidades rurales en México, de manera sustentable.
2. Indicar las potencialidades de un biodigestor anaerobico como coadyuvantes a la situación actual de las comunidades rurales.
3. Mostrar el proceso de la digestión anaerobica, así como sus alternativas en la producción del biogas y fertilizantes a través de esta.
4. Establecer los criterios de manejo, tipo y tamaño de los biodigestores anaerobicos existentes en distintos países, estableciendo sus ventajas y desventajas de su aplicación en México.

-
5. Establecer la importancia del biogas y el efluente; productos de la fermentación anaerobica, así como su influencia en el desarrollo sustentable de las comunidades rurales.

 6. Establecer adecuadamente, mediante los criterios de selección, diseño y construcción, la implementación de biodigestores anaerobicos en pequeña escala en el municipio de Chalco, Estado de México, colaborando en su desarrollo socio-económico de las comunidades rurales.

3. **METODOLOGÍA**

La digestión anaeróbica es un proceso complejo cuyo comportamiento se explica, en función de diversas variables y con frecuencia interrelacionadas. Es por ello que esta investigación examina sus procesos técnicos, así como las prácticas de digestión más usuales, aplicando los principios ya conocidos para diseñar sistemas de digestión en pequeña escala, que se pueden utilizar en diferentes circunstancias, teniendo en cuenta que cada diseño encierra ventajas y desventajas particulares, las cuales pueden ser aplicadas en las comunidades rurales del municipio de Chalco Estado de México, de acuerdo a las necesidades económicas, sociales y culturales.

Bajo este contexto, se realizó una metodología basada en un análisis "**DESCRIPTIVO-COMPARATIVO**"; el cual nos pueda determinar la factibilidad de aplicar un sistema anaeróbico en las comunidades antes mencionadas.

De tal forma se plantea de manera general, la situación actual por la que atraviesa el sector agropecuario tradicional en nuestro país, mencionando sus aspectos políticos, económicos, sociales y culturales en la década de los 90's en donde se presenta una crisis aguda en el sector agropecuario tradicional, afectando a las comunidades rurales, principalmente.

Teniendo de base esto se procedió a realizar la descripción y utilización de los digestores anaeróbicos, así como el papel que desempeñan en el desarrollo sustentable en favor de la ecología, aprovechando desechos orgánicos animales y vegetales, obteniendo beneficios como la generación de biogas, biofertilizante, complementos alimenticios, etc.

A partir de este análisis se estableció una comparación entre varios digestores utilizados en diferentes partes del mundo, con la finalidad de establecer cual es el más apropiado para las comunidades rurales de Chalco, con el objeto de promover el

desarrollo sustentable y la organización en dichas comunidades, incrementado sus niveles de bienestar.

Por último después de llavar a cabo la investigación descriptiva-comparativa, se realizó un análisis de la inversión para promover la tecnología antes citada, impulsando el ecodesarrollo de ésta región.

1 MARCO GENERAL

1.1 PROBLEMÁTICA DEL SECTOR RURAL.

Nuestro país está atravesando desde hace ya varios años por una fuerte crisis, acentuándose principalmente en el sector rural, sus manifestaciones más importantes han sido, por un lado, la insuficiencia productiva, derivada de una tasa de crecimiento de la producción agrícola menor que la del aumento demográfico, y por el otro lado el mantenimiento y agudización de la pobreza. Sin embargo, otro aspecto no menos importante de esta crisis rural lo constituye la grave problemática ambiental que el campo está sufriendo en la actualidad. (*Toledo, 1996*).

Según Knocheniaver (1990), las principales causas de la crisis del sector rural de 1982 a 1989 son:

1. La descapitalización de los fondos productivos; debido a los bajos precios que se pagan por los alimentos básicos, la disminución e inadecuada aplicación de las inversiones y los subsidios gubernamentales y al deficiente rendimiento de los recursos.
2. La lógica implacable de la pobreza generalizada, que impide el adecuado aprovechamiento de los recursos disponibles, así como la resistencia a estrategias y políticas que sólo persiguen propósitos productivistas.
3. La atomización de la estructura agraria en el minifundio.
4. Los vicios del paternalismo, la centralización burocrática y la corrupción en las instituciones públicas de fomento agropecuario.

Ahora bien en el periodo comprendido de 1988 a 1994, conocido como el salinismo, se planteó claramente lo que se espera de los campesinos en el modelo neoliberal aplicado en este lapso: proporcionar fuerza de trabajo barata y someter a las reglas del mercado la tierra y los recursos naturales que poseen, bajo las formas mercantiles que se consideren convenientes como son los contratos de arrendamiento, mediería y/o aparcería, ventas, sociedades mercantiles, asociaciones en participación, etc. (Mackinlay, 1996).

El modelo neoliberal está basado en la modificación al artículo 27 constitucional y a la ley agraria, para promover nuevas figuras asociativas entre productores e inversionistas, que aporten capital y tecnología, que permitan de acuerdo con la política hacia el campo, compactar tierras basadas en el uso intensivo de insumos químicos y maquinaria agrícola, a fin de elevar la producción y la productividad.

La orientación general descrita, se valida en el sentido de que se privilegió el desarrollo de la producción agropecuaria empresarial y se relegó a un segundo plano la economía campesina, lo cual refleja claramente, si consideramos que fue rápidamente desmantelada una economía protegida que contaba con la presencia de numerosas empresas paraestatales y estatales proporcionando servicios y apoyos financieros en diversas ramas productivas, dotada de un sistema regulatorio de los precios de garantía, la producción y distribución directa de cuantiosos productos alimenticios de consumo popular, con instituciones financieras y crediticias públicas de fomento y desarrollo agropecuario, aun cuando funcionara basándose en importantes niveles de subsidio, que apoyaba de manera significativa, a los productores agropecuarios de escasos recursos.

Por otro lado el nuevo entorno del comercio exterior mexicano representa una modificación radical de las condiciones de competitividad que enfrentan las empresas mexicanas frente a las extranjeras.

La conclusión de la Ronda Uruguay dio como resultado un nuevo marco jurídico con relación al comercio internacional de las mercancías agropecuarias y agroalimentarias. Asimismo, estableció las nuevas reglas del juego a partir de la adopción de varios acuerdos relevantes para el comercio internacional de estos productos: acuerdos sobre agricultura, así como aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF).

De igual manera, integró viejos acuerdos como el de Barreras Técnicas al Comercio (OTC), dándole un nuevo sentido y acotando su ámbito, transformando las viejas estructuras del Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT) en la Organización Mundial del Comercio (OMC).

El acuerdo MSF establece que cada país miembro tiene el derecho de regular el comercio internacional con medidas necesarias para proteger la vida y salud del hombre y los animales, así como para preservar los vegetales.

Por otra parte, uno de los principales retos que plantea la apertura para la política agropecuaria es la política de precios, la cual deberá permitir que estos reflejen sus verdaderos niveles de mercado y al mismo tiempo, se apoyen las iniciativas que pudieran elevar y diferenciar el precio para los productores con base en un mejor acceso a servicios competitivos de certificación, financiamiento y comercialización de sus cosechas. La apertura comercial, especialmente el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), define la trayectoria de alineación de los precios internos a los precios internacionales. En cuatro o cinco años más, todos los productos del sector agropecuario, con excepción del maíz, frijol y leche en polvo, estarán sujetos al mercado internacional. En la actualidad, las cotizaciones a futuro de las bolsas mundiales de granos sirven de referencia para la determinación de los precios al productor en México, considerando las bases de comercialización que incluyen, entre otros conceptos, los costos financieros de almacenaje de las cosechas y de transporte, así como las condiciones locales de oferta y demanda en la zona de producción.

Aunado a lo anterior, existen otros elementos derivados del cambio estructural de la población mexicana, que influyen e influirán en las decisiones productivas y de política para los productores del campo y la agroindustria. Por ejemplo, en 1995 México contaba con 91.1 millones de habitantes, y se espera que siga creciendo en el futuro, aunque a tasas más bajas. Así, de acuerdo con el estudio de "prospectiva del Agro y la Ganadería al 2025"¹, en ese año la población nacional podría llegar a entre 136 y 150 millones de habitantes; esto es: entre 49 y 65% más que en 1995. Esto, sin considerar otros factores, implica que México tendrá que contar dentro de 25 años con una y media veces la cantidad de alimentos disponibles hoy día.

El proceso de urbanización del país también continuará avanzando. Cabría esperar que en este siglo el 80% de la población de México habite en centros urbanos, comparado con 57% en 1990. El crecimiento urbano esperado se explica por un crecimiento de ciudades que actualmente tienen un tamaño medio, y en menor medida, de las megaciudades del país (ciudad de México, Monterrey y Guadalajara). Parte del crecimiento urbano se dará sobre terrenos actualmente dedicados a la agricultura.

Por el lado de la producción es previsible que la superficie cosechada en México tendrá incrementos relativamente modestos, difícilmente mayores a 20% de la extensión actual y que, en su mayoría, no corresponderán a las tierras más propicias para las tareas agrícolas. En el año 2025 la superficie total cosechada del país difícilmente rebasará los 25 millones de hectáreas.

Para cubrir las mayores demandas previsibles, será necesario lograr incrementos importantes de productividad, o bien aumentar las importaciones de productos agropecuarios de manera permanente. Los incrementos de productividad agropecuaria deberán lograrse en condiciones desfavorables (creciente erosión de los suelos, dependencia de las condiciones climatológicas, algunas insuficiencias de infraestructura y una baja tasa de difusión tecnológica).

¹ Véase Consultores Internacionales, S.C: "prospectiva del Agro y la Ganadería al 2025". En: Estudio preparado para la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagar), México: s.p.l., 1997.

Existen desarrollos tecnológicos importantes y amplios márgenes para mejorar la eficiencia de los procesos de producción y distribución, aunque los logros no serán iguales para todos los productos. Una reducción razonable en las pérdidas poscosecha podría representar fácilmente incrementos de 10% o más en la disponibilidad de productos agrícolas para el consumo.”(Casco Flores. 1999)

Existen en el país por lo menos 4 millones de campesinos que viven en la economía de subsistencia y miles de ellos se encuentran por debajo de ese nivel.

Lo importante en estos tiempos de cambio que vive el país, es encontrar la forma de organizar a estos grandes grupos humanos para el trabajo y lograr que integren economías locales y regionales autosustentables.

Los problemas del campo y los campesinos nos afectan a todos porque su problemática se transforma en urbana; en internacional por efectos de la emigración; en económica, porque es un sector improductivo y sin poder de compra; en social y de salud; en educativa y de desarrollo general del país. En resumen, no podemos avanzar como país a la velocidad que deseamos, porque arrastramos vergonzosos rezagos originados por el atraso del campo y la marginación campesina

De manera general podemos decir que los principales cambios relacionados con las políticas públicas, enfrentados por el campo mexicano en los últimos años ,son los siguientes:

- Fin del reparto agrario:
- Disminución y retirada de la participación del gobierno en el proceso productivo rural y en la prestación de servicios.
- Apertura de las actividades agropecuarias al comercio internacional y del mercado de alimentos a la importación de granos de bajo costo, mala calidad y con precios subsidiados en sus países de origen.

- Canalización de productos crediticios a la agricultura de exportación y relegamiento del resto de la actividad agropecuaria.
- Aprobación de una nueva legislación agraria que modifica la propiedad de la tierra; da libertad al sujeto para disponer de ella; otorga funciones a la asamblea ejidal para privatizar la propiedad social, asociarse con terceros en corporaciones que pueden tener hasta 25 veces los límites de la pequeña propiedad; regulariza la tenencia; constituye los tribunales agrarios para dirimir controversias, y la procuraduría agraria para representar jurídicamente a los campesinos, y favorece la asociación con el capital privado.

Los cambios anteriores han afectado de manera distinta a los productores. Aunque la *tipología de los grupos rurales es muy compleja, puede decirse que, atendiendo al destino final de sus productos, existen tres grandes categorías: agricultura comercial, agricultura comercial tradicional y agricultura de subsistencia e infrasubsistencia. Esta última comprende a toda la población indígena y a los productores con menos de cinco hectáreas.*

Los cambios recientes en el ámbito rural han afectado sobre todo a la agricultura comercial tradicional y a la de subsistencia e infrasubsistencia, que son las mayoritarias, mientras que han favorecido a la agricultura de exportación; principal componente de la agricultura comercial. Esta última tiene acceso a mercados competitivos de capital, a tecnología de punta e infraestructura pública. Su éxito o fracaso puede atribuirse a factores más allá del ámbito de las políticas del desarrollo rural como, por ejemplo, las condiciones macroeconómicas generales y la evolución de los mercados internacionales, sin menoscabo de ser beneficiaria de la acción de las instituciones públicas que aún existen en el sector rural.

En contraste, las carencias de la agricultura comercial tradicional y de la de subsistencia e infrasubsistencia son evidentes: tecnología obsoleta o nula y sin

asesoría para innovación; nulo acceso a canales adecuados de comercialización; acceso limitado al crédito; escasa infraestructura productiva básica; las capacidades “empresariales” de los individuos y comunidades en estos segmentos no han sido fomentadas y, en ocasiones, son desalentadas en forma continua por una fuerte competencia vía precios. En la agricultura de subsistencia los problemas se relacionan con la pobreza y las carencias asociadas a ella: salud, educación, falta de infraestructura y migración.

Con la nueva política gubernamental basada en la participación del sector privado en la economía -promovida en los últimos sexenios-, viene aparejada una menor intervención gubernamental. La inversión extranjera y la apertura comercial trajeron consigo una redefinición radical del papel de Estado en la vida económica y social del país, y el sector agrícola fue uno de los sectores más afectados con estos cambios.

La disminución en términos reales de los subsidios y el gasto público, así como el paulatino retiro del gobierno de las actividades de crédito, comercialización, desarrollo e investigación tecnológica en el agro, pretenden crear las condiciones para transformar y reactivar la participación de los capitales privados, nacionales y extranjeros, en el sector.

En este sentido, las modificaciones al artículo 27 constitucional buscan readecuar la estructura de la tenencia de la tierra, creando un nuevo marco jurídico favorable para atraer inversiones al campo, generar unidades productivas más grandes y fomentar distintas formas de asociación entre el capital privado y los productores con potencial productivo.

Los aspectos principales de la reforma constitucional están relacionados con la imposibilidad de continuar masivamente con el reparto agrario. En consecuencia, era

importante modificar la propiedad de las tierras repartidas para favorecer el desarrollo del sector. Para ello el gobierno federal instrumentó el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos (Procede), encargado de regularizar la tenencia de la tierra y definir los derechos de propiedad.

A principio de los años noventa, después de la eliminación de los permisos de importación y la liberación comercial de algunos productos, fue creado el Apoyo y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA) con el objetivo principal de promover el desarrollo de mercados agrícolas para facilitar las transacciones directas entre productores y compradores.

Uno de los grandes cambios en la política de apoyo a los productores agrícolas fue la adopción de pagos directos. En este contexto, surge el Programa de Apoyos Directos al Campo (Procampo) cuyo principal objetivo fue liberalizar los mercados y sustituir los subsidios vía los precios de las mercancías por un apoyo directo al ingreso agrícola. Este programa buscó apoyar a los agricultores en sus esfuerzos para adaptarse al ajuste estructural; reducir las distorsiones en la asignación de recursos creados por el esquema de precios de garantía; estimular a los agricultores a tomar sus decisiones de producción sobre la base de sus expectativas de ganancia, y permitir la adopción de nuevos cultivos y especies en el contexto de un concepto amplio de mercado y ganancia, sin embargo este programa no ha tenido los alcances esperados, debido a que los recursos aportados a él no son invertidos en el campo debido a la pobreza que impera en este.

Otro aspecto importante fue la reforma del sistema crediticio, particularmente Banrural. Este cambio estructural del sistema financiero para el campo consistió en que la banca de fomento financiaría a los productores con menores ingresos, con viabilidad financiera y localizados en áreas con posibilidades productivas. Así, Banrural se ausentó de grandes zonas improductivas y opera mayormente en el norte del país.

Además la federación creó programas de crédito a la palabra, para atender a los productores minifundistas de menor viabilidad, ubicados en zonas de baja productividad.

Para mejorar las habilidades de los agricultores y la promoción del desarrollo tecnológico necesarios para incrementar la productividad y la competitividad del sector agrícola, el gobierno desarrolló la estrategia denominada Alianza para el Campo. Una de las características principales de este programa es la descentralización de su ejecución hacia los distritos de desarrollo rural, cuyo control fue confiado a las autoridades estatales.

El retiro gradual del gobierno como principal promotor e inversionista de las distintas etapas del proceso productivo agrícola (semillas, fertilizantes, comercialización, precios de garantía, etc.) no ha podido ser sustituido por el sector privado. Un resultado crítico no deseado ha sido la transferencia de los riesgos (ambiental y de precios, principalmente) a los productores menos capacitados para absorberlo. Y, como omiso recordatorio de lo mucho que falta por hacer en el campo, crece la masa de jornaleros agrícolas. *(Ramírez López, 1999)*

Las transformaciones estructurales propiciadas por el doble efecto de las reformas al régimen de tenencia de la tierra y por la reforma del estado neoliberal pueden dar lugar a una situación muy diferente a la que prevaleció durante la época de la reforma agraria. En una situación de cambio histórico tan importante como la que se registra en el campo mexicano, actualmente, resulta difícil hacer pronósticos sobre los posibles desenlaces económicos, políticos y sociales. *(Mackinlay, 1996).*

Ante esta perspectiva los campesinos de subsistencia e infrasubsistencia, quedan a merced de los inversionistas tanto nacionales como extranjeros, a menos que se realicen estrategias basadas en tendencias novedosas en donde se promueva a la vez

una salida confiable de la economía campesina mediante un equilibrio en sus formas de producción y su medio natural que les rodea, de ahí la importancia de la ecología en el desarrollo sustentable de las mismas, dado que esto puede permitir el crecimiento y desarrollo de las comunidades rurales.

1.2 LA IMPORTANCIA DE LA ECOLOGÍA EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE

México se encuentra en este fin de siglo a realidades nuevas y cambiantes. Una de ellas es la conformación de un inédito mundo rural que apela a distintos procesos sociales y diversas demandas y por tanto, exige respuestas novedosas. *(Massieu, Castañeda, 1994).*

Una opción para mejorar las condiciones de vida del sector rural e impulsar su desarrollo de manera sostenible, es mediante tecnologías agroecológicas, que permiten establecer una adecuada relación entre hombre y naturaleza para lograr la producción de alimentos, permitiendo tener un incremento en sus niveles de vida, sin que se lleve a cabo un deterioro del entorno ecológico de la zona.

Así la definición oficial del desarrollo sustentable es “el desarrollo que satisface las necesidades de una generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. *(Comisión Nacional de Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988).*

El objetivo es demostrar que el desarrollo ecológico es un proceso que debe impulsar, ante todo, el desarrollo humano, sus posibilidades de crecimiento y auge económico, mediante un uso racional de la naturaleza, aprovechando las instancias técnicas y científicas, tomando en cuenta los valores, criterios y normas de población, es decir poder dotarse de alimentos, energía, agua, instrumentos y otros satisfactores. *(Massieu, Castañeda, 1994).*

El avance de distintas disciplinas ofrecen salidas complementarias para esta etapa, tal es el caso de la agroecología, que incorpora los conocimientos tradicionales de las comunidades y la forma de conservar y manejar los recursos y cultura de la población campesina. (*Massieu, Castañeda, 1994*).

La agroecología se ha caracterizado en las últimas décadas por proponer diversas opciones tecnológicas acordes a las necesidades de cada comunidad, evitando el uso de paquetes tecnológicos que no toman en cuenta las distintas opciones y condiciones ambientales. No obstante el desarrollo de la ecología, su difusión es restringida y no se considera en los planes de desarrollo agropecuario, como una alternativa prioritaria en el campo, esto hace que la agroecología sólo llegue a ciertas regiones del país. (*Massieu, Castañeda, 1994*).

La agricultura sustentable no excluye el uso de combustibles fósiles y productos químicos, sólo requiere que se apliquen en forma adecuada y a favor de la sustentabilidad. (*Carabias, 1994*).

La crisis alimentaria que sufre el campo también es un factor importante que afecta gravemente las posibilidades y perspectivas de resolver los problemas productivos y sociales en los próximos años y tiene que ver con el modelo general que ha seguido el desarrollo rural en México caracterizado por una profunda y compleja polarización, por un lado la agricultura empresarial y por el otro la agricultura de subsistencia e infrasubsistencia. (*Toledo, 1994*).

Bajo este contexto las desventajas de México frente a las condiciones de producción y comercialización de las actividades agropecuarias en la economía mundial no son imposibles de superar, siempre y cuando se logre defender la inclusión del componente ecológico en el costo de los productos. Es obvio que esto requiere un frente de acción que rebasa los límites nacionales. (*Massieu, Castañeda, 1994*).

Carabias (1997), cita que la sustentabilidad debe basarse en los recursos que dan lugar a la producción y en los medios para su conservación, debido a que ni la productividad ni la calidad de vida se pueden mantener si los sistemas de producción no son ecológicamente estables. Es por ello que el campo de cultivo y la granja son los dos niveles en la jerarquía de la organización que define a los agroecosistemas. Es por esto que si la sustentabilidad no se alcanza en los niveles más bajos, menos se alcanzará en los niveles más altos.

Ya que las tierras cultivables no son suficientes, para satisfacer las demandas presentes, se utilizarán más tierras marginables susceptibles de degradación. La solución radica en sistemas de manejo integral con los que se puedan obtener niveles aceptables de producción en diferentes tipos de suelo. Los conceptos de agricultura, ganadería y silvicultura deben ser modificados evitando el antagonismo que ahora existe entre ellos y creando unidades de producción diversificadas y de usos múltiples.

Es impostergable la lucha por un desarrollo sustentable que comprenda entre las ventajas competitivas la conservación de los recursos naturales que antes de buscar la diversificación de nuestras relaciones comerciales en el exterior, se garanticen los derechos humanos, básicos de los campesinos: alimentación salud, y en conjunto un desarrollo de manera integral. (Massieu, Castañeda, 1994).

Estos nuevos procesos rurales, la sabia combinación de lo tradicional y lo moderno ofrecen una esperanza para lograr la integración de sistemas de producción agropecuarios, que nos permitan tener un desarrollo sostenido basado en el incremento de la calidad de vida de las comunidades rurales basado en una cultura ecológica. Para ello es necesario conocer diversas prácticas agroecológicas, y una de ellas es la digestión anaeróbica, la cual sirve como coadyuvante a la solución de la problemática agroecológica que presenta el campo mexicano, explicado en el siguiente tema.

1.3 POTENCIALIDADES DE LOS BIODIGESTORES COMO COADYUVANTES A LA SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En los países en desarrollo, los aspectos económicos tienen un peso fundamental en esta problemática, como lo plantean Martínez y Bejarano (1992), la crisis social del pequeño productor y de las comunidades rurales, paralelo a los problemas ambientales existentes la expulsión de la población del campo a los centros urbanos o a situaciones de trabajo migratorio bajo condiciones de explotación, la ruina de los pequeños productores por un endeudamiento creciente, lo cual conduce a la desintegración de las comunidades rurales.

Una de las premisas fundamentales para lograr la sustentabilidad en los sistemas de producción agrícola, es sin duda, la necesidad de establecer un flujo de energía, nutrimentos y agua (principalmente, aunque puede haber otros recursos implicados), de tal manera que los procesos biológicos, técnicos y sociales que lo componen, estén encaminados a lograr que ese flujo de energía sea lo más eficientemente posible, optimizando al máximo los recursos, con la promoción del reciclaje y la reducción en el aporte externo de insumos.

Dentro de este contexto, es común encontrar que la mayoría de las propuestas sobre sistemas sostenibles, se manejen conceptos como la integración, el uso holístico de los recursos, de tal manera, que sean manejados con objetivos específicos para cumplir con funciones múltiples.

La importancia del reciclaje de materias orgánicas para la agricultura hasta alrededor de 1850 era creencia general que las plantas se nutren de materias orgánicas, hasta que Liebig demostró con claridad que las plantas se nutren de aguas y sustancias inorgánicas, principalmente de N, P y K. Este descubrimiento ha revolucionado la agricultura y ha desarrollado el fomento a la industria de fertilizantes. (Arens, 1983).

Con la marginación y el desplazamiento progresivo de abonos orgánicos, en favor de los abonos químicos, entró el problema del manejo de los desechos y residuos. Poco a poco éstos se convirtieron más bien en una práctica normal. (Arens, 1983).

Sin embargo todas las materias orgánicas siguen en realidad siendo una fuente de vida nueva para los suelos, una fuente de energía y de renovación. En los últimos años se puede observar un cambio fundamental en el pensamiento con respecto a los residuos y desechos. Más que una carga, los residuos orgánicos son un recurso. el gran valor de estos recursos se evidencia con el reciclaje bien manejado. (Arens, 1983).

El reciclaje de materias orgánicas en la reutilización de éstos, previa una conversión biológica o no, para sostener o mejorar la productividad de las prácticas agropecuarias.

Para Arens (1983), el reciclaje abarca un número de temas diversos, de los cuales los más importantes son:

1. Compostaje aerobico de toda clase de residuos orgánicos (basuras urbanas, residuos industriales o agroindustriales, residuos de cosechas, estiércol de todo tipo, etc.) y aplicación de composte.
2. Digestión anaerobica de toda clase de residuos orgánicos de plantas, animales, hombres, etc. y la aplicación de los residuos en los cultivos.
3. Fijación biológica del nitrógeno, simbiótica o no simbiótica de la materia orgánica enriquecida en nitrógeno.
4. La incorporación directa de toda clase de residuos orgánicos a los suelos, sin transformaciones previas.

El reciclaje de materias orgánicas ha recibido un gran impulso con el alza de los precios de los abonos químicos y con la búsqueda de alternativas viables de fuentes de energía. (Arens, 1983). Así los temas más actuales del reciclaje de desechos orgánicos son:

- La producción y utilización de biogas.
- La fijación simbiótica y no simbiótica del nitrógeno.
- La mantención o el aumento del contenido de materia orgánica de los suelos.
- La conversión de todos los residuos, desechos y basura en abonos orgánicos útiles y competitivos.

Trinidad (1987), señala una clasificación de los principales tipos de abonos o residuos orgánicos: estiércol animal, composta, abonos verdes, residuos de cosechas, residuos orgánicos, industriales y aguas negras; y por otro lado la FAO (1983), presenta la siguiente clasificación:

- a) Municipales (residuos urbanos y aguas negras).
- b) Agroindustriales (subproductos de caña, café, cacao, coco, etc.).
- c) Pecuarios (estiércol de ovino, bovino, equino, gallinaza y otros residuos).
- d) Residuos de cosechas.
- e) Abonos verdes.

Considerando el hecho de que la mayoría de los países Latinoamericanos están distantes de un Sistema Nacional de generación y distribución de fuentes de energía alternas, es obvio que una solución más práctica e inmediata hace falta. Las limitaciones económicas hacen imperativo el integrar el problema energético con los de nutrición y salud pública. (Werner, 1983).

Aunque la digestión anaeróbica y la producción de biogas se puede llevar a cabo en cualquier sitio del mundo, son los países tropicales los que tienen las condiciones más ventajosas para este proceso. Las condiciones de crecimiento perennes, en muchos casos la gran cantidad de precipitación, producen grandes cantidades de biomasa; en el usualmente clima caliente. (Werner, 1983).

Quizás los aspectos más obvios y ventajosos en la producción de biogas es su relación íntima con las necesidades y recursos de los países en desarrollo. Esta es una fuente descentralizada de energía, la cual es barata, de tecnología sencilla y puede fácilmente construirse con materiales y mano de obra locales. No existen problemas logísticos o al menos éstos se mantienen en un mínimo, ya que el biogas puede ser producido de cualquier compuesto orgánico y puede ser utilizado hasta sin procesamiento del productor mismo. (Werner, 1983). Además si consideramos que también los efluentes son de gran importancia para la práctica agropecuaria.

Los compuestos orgánicos más apropiados para la digestión anaeróbica y la producción de biogas, se presentan en el cuadro 1, donde los desperdicios constituyen el elemento más importante. (Werner, 1983).

El integrar los elementos de salud, viveres y energía nos trae como consecuencia un proceso que elimina los desperdicios, produce combustible para reducir energía y provee de nutrientes para futuras cosechas de alimentos. La tecnología involucrada en la digestión anaeróbica es esencialmente tan sencilla como su concepto (a excepción de producción de biogas de vertederos); todo lo que se necesita es una cámara cerrada de un tamaño apropiado a la cantidad de compuestos disponibles. La cámara puede ser de cualquier material que impida la penetración del aire para proveer condiciones anaeróbicas. (Werner, 1983).

Cuadro 1.- *Compuestos orgánicos más convenientes para la digestión anaeróbica y la producción de biomasa.*

- Desperdicios animales incluyendo paja, desperdicios de comida y estiércol.
- Desperdicios de cosechas: bagazo, yerbajos, rastrojo, paja y forraje podrido.
- Desperdicios de matadero, residuos animales tales como sangre, carne, desperdicios de pesca, cuero y desperdicios de lana.
- Residuos de industrias que tienen base agrícola tales como aceite endurecido, desperdicios de frutas y vegetales procesados, bagazo y residuos de centrales azucareras, residuos de té y polvo de algodón de las industrias textiles.
- Humus de bosque.
- Desperdicios de cosechas acuáticas tales como algas marinas y jacintos acuáticos.

FUENTE: Renewable Energy Resources and Rural Applications in the Developing World. Norman Brown, Editor A.A.A.S. Selected Symposium 6, 1978.

1.3.1 SITUACIÓN DE LOS DESECHOS ORGANICOS EN MÉXICO.

En México la experiencia en el uso de residuos orgánicos, tradicionalmente se ha visto en la bondad de las materiales orgánicos, en función de su aporte a la fertilidad de los suelos y de los cambios en características químicas de los mismos, se sabe que la adición de los materiales orgánicos produce cambios importantes en las propiedades físicas de los suelos que influyen sobre la cantidad, distribución y movimiento del aire y del agua en el perfil. Estas propiedades influyen, a su vez sobre el crecimiento de sus raíces, la formación de costras, la porosidad del suelo, la infiltración del agua, la capacidad de retención de humedad, la temperatura y la facilidad del laboreo. (Figueroa, 1983).

Figuroa (1983), menciona que los materiales orgánicos que se añaden al suelo en México son entre otros: estiércoles, residuos vegetales, abonos verdes, aguas negras y desperdicios domésticos e industriales.

1.3.1.1 USO DE LOS ESTIÉRCOLES

Es conveniente mencionar que los tipos de ganadería desarrollados en México difieren grandemente. En el norte del país (zonas áridas), la ganadería se realiza principalmente en agostadero y es extensiva. En el centro (zonas templadas), ésta es estabulada, y en el sur (zona tropical), se localiza principalmente en praderas. (Figuroa, 1983).

En las zonas norte y sur del país no se realizan recolecciones sistemáticas de estiércoles, permaneciendo éste en áreas de pastoreo o en los puntos de reunión del ganado durante la noche. (Figuroa, 1983).

En el altiplano mexicano las explotaciones ganaderas existentes, en su mayoría estabuladas, utilizan en forma tradicional el estiércol procedente de dicha explotación en los terrenos agrícolas de las granjas, como es el caso de los establos del Valle de México, o comercializan dichos residuos, como es el caso de la gallinaza proveniente de granjas avícolas; en términos generales se estima que se pierde un 50 % de estos residuos. (Figuroa, 1983).

En México se producen grandes cantidades de desechos orgánicos (excretas), de distintas especies de animales, como se muestra en el cuadro 2, lo cual nos da una idea de la gran cantidad de desechos no utilizados o subutilizados. (Arias, 1978).

Cuadro 2 .- Producción al día de excrementos por especie en México (por individuo).

Bovinos	35
Equinos/asnal	30
Cerdos	3.5
Ovinos	2.4
Caprinos	1.6
Gallinas	0.4
Guajolotes	0.7
Conejos	0.1

FUENTE: JESUS ARIAS CHÁVEZ (1978).

Otra estimación de la cantidad existente de estiércoles en México la presenta Cruz (1986), en el cuadro siguiente:

Cuadro 3 .- Estiércoles disponibles en México

Bovinos	36,000	74.4
Equinos	4,800	9.8
Porcinos	3,300	6.7
Caprinos	1,800	3.6
Gallinaza	1,700	3.5
Avinos	1,000	2.0
Total	48,600	100.0

FUENTE: SERGIO CRUZ MEDRANO (1983).

1.3.1.2 USO DE ABONOS VERDES

Uno de los sistemas de cultivo más importantes en México lo constituye la siembra de cultivos en escarda en época de lluvias. Sistemas de cultivo en donde sólo se produce una cosecha al año, en los cuales durante siglos se ha practicado el monocultivo y en los que además se practica el uso de los residuos de cosechas para fines de alimentación de ganado. (*Figueroa, 1983*).

Estos sistemas de cultivo conducen a la existencia de suelos bajos en materia orgánica y nitrógeno, los cuales están desprovistos de cobertura vegetal a inicio de la temporada de lluvias y presentan, entonces, fuertes problemas de fertilidad y erosión. (*Figueroa, 1983*).

En el caso de los abonos verdes, Baruco (1970), reporta un incremento hasta de una tonelada en el rendimiento de grano de maíz sembrado después de incorporar trébol hubam. (*Figueroa, 1983*).

Sánchez, recomienda que en zonas templadas se usen como abonos verdes la alfalfa, el trébol hubam, la veza y el trébol blanco, en zonas cálidas, él recomendó usar sesbania y para zonas del trópico además de la anterior, también el gandúl, frijol terciopelo y la crotolaria juncea.

Aunque las rotaciones de cultivos ofrecen una alternativa excelente para el mejoramiento de los suelos, estas no se han usado en el centro del país debido a las características del sistema de agricultura de subsistencia que se practica tradicionalmente. (*Figueroa, 1983*).

1.3.1.3 USO DE LOS RESIDUOS VEGETALES.

Los residuos vegetales son utilizados completamente para alimentación del ganado y usos en el hogar (meseta central y parte norte del país), en estas áreas existe un uso completo de todos los residuos vegetales, aunque, en general, ninguno de estos usos involucra el compostaje de los mismos para su uso posterior. En las zonas tropicales no se hace ningún uso de los residuos vegetales y estos generalmente son quemados. (Figuroa, 1983). Aunque en los últimos años a tomado gran interés.

Figuroa (1983), menciona que en el sistema roza, tumba y quema que es utilizado extensivamente en el sur del país (zonas tropicales), la quema del material acumulado durante el período de descanso de los terrenos constituye un desperdicio grande de materiales orgánicos susceptibles de utilización.

En México no existen datos precisos sobre volúmenes e importancia económica de estos residuos, sin embargo cumplen un papel importante en la economía de las explotaciones rurales. El uso principal es como forraje (trigo, cebada, avena, sorgo, maíz, etc.), aunque en ocasiones su aprovechamiento es reducido, debido a la escasez de maquinaria, llegandose a quemar en el mismo terreno ya que el período de su descomposición es tardado.

1.3.1.4 USO DE AGUAS NEGRAS

Actualmente el uso de estas aguas es dirigido directamente a la producción de hortalizas, sobre todo en el distrito de riego número tres de Tula, Hidalgo. Provenientes de la ciudad de México, como lo cita Figuroa (1983), las aguas de la ciudad se utilizan para riego, ya sea en forma directa o mezclada con aguas de riego blancas, principalmente para la producción de forrajes en el Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo.

Debido a que no se da tratamiento previo a estas aguas, existe en México un problema grande en el parasitismo debido al consumo de verduras producidas con aguas negras. Figueroa (1983); además de ocasionar la pérdida de los suelos para producir, ya que se da un proceso de salinización y concentración de manera significativa de metales pesados, graves para la salud humana (fierro, mercurio, zinc, etc.).

1.3.1.5 USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Como lo cita FAO (1983), los principales residuos son los que provienen de la caña, café, cacao, coco, etc. Cruz (1986), considera los residuos de enlatadoras y empacadoras y orujo de vid. Trinidad (1987), menciona que los residuos orgánicos industriales, en México no se han capitalizado para fines agrícolas.

En la actualidad el estudio de los desechos agroindustriales se ha hecho poco y estos no han tenido la difusión adecuada ya que por ejemplo los aserrines son considerados como parte de estos desechos.

Parte de los residuos orgánicos de la industria vitivinícola, enlatadoras, cafetaleras y empacadoras, se han utilizado para preparar compostas en algunos casos y en otros no se utilizan, acumulándose sin ningún control. (Cruz, 1986).

El manejo de subproductos de la caña de azúcar, es utilizado para producir compostes. De echo ya se tienen sistemas microbiológicos para producir compostas. (Figueroa, 1983).

1.3.1.6 USO DE BASURAS URBANAS

Existen en varias ciudades de México (estado de México, Guadalajara, Monterrey y Toluca), que cuentan con sistemas de composte de la basura urbana.

Estos compostes, aunque de muy buena calidad, no son utilizados. (Figueroa, 1983). Además, solamente se procesa aproximadamente el 10 % de la basura total producida. El resto, previa selección manual de materiales de reciclaje (latas, vidrio, papel), es quemado, acumulado en depresiones o entercolado en rellenos sanitarios. (Figueroa, 1983).

En promedio se habla de una producción de 0.4 % Kg./habitante/día de basura orgánica en el país (Arias, 1978), lo cual implica 36 mil toneladas de basura orgánica al día, para los 98 millones de habitantes aproximadamente. En el cuadro 4, se presentan los subproductos orgánicos disponibles en México, así como la generación de estos durante un año.

Cuadro 4 .- *Subproductos orgánicos disponibles en México.*

Bagazo de caña	10,000
Disponibles *	5,000
Cañaza de ingenios *	1,000
Pulpa de café *	150
Residuos de enlatadoras y empacadoras *	100
Orojo de vid *	15
Líes *	3
Basuras urbanas	17,000
Materia orgánica *	10,200
Composta (instalada)	600
Composta disponible	105
Total *	16,468
Aguas negras	2,200,000,000m ³
Sedimentos	1,500,000,000 Ton.

FUENTE: SERGIO CRUZ MEDRANO (1983).

1.3.1.7 USO DE PLANTAS ACUÁTICAS

Aunque el lirio acuático no es un residuo agrícola, en México su presencia se ha incrementado en los ríos y lagos del país como consecuencia del fenómeno de carbonificación, hasta llegar a convertirse en una plaga. (Figueroa, 1983).

Con el fin de utilizar este recurso se ha estudiado con éxito el uso de esta planta para la producción de forrajes para animales. (Figueroa, 1983).

En países como China, en las proximidades de los ríos se cultivan plantas acuáticas como forraje para los animales y abono para los campos. (FAO, 1979).

Algunas plantas acuáticas que se están utilizando de manera importante en la actualidad son las algas, verde-azuladas para la fijación de nitrógeno, en donde FAO (1983), establece que son factibles al incorporar entre 24 a 48 Kg./ha/año de nitrógeno al suelo, además de utilizarse en biodigestores anaerobicos.

Bajo este contexto el uso de los desechos orgánicos en nuestro país no es el adecuado es decir que se emplean o se aprovechan de manera deficiente, que a su vez se generan grandes cantidades de estos, si consideramos la superficie agropecuaria ejidal, comunal, la de propiedad privada, la de colonia y la pública con actividad agropecuaria, representada en el cuadro 5, en la cual se puede establecer una promoción de las técnicas de producción y utilización de tecnologías a través de programas de capacitación y extensión, concientizando a la sociedad que el uso racional de los desechos es una fuente de energía, que favorece al equilibrio ecológico impulsando el desarrollo sustentable.

Además de que constituye elementos necesarios para los procesos de obtención de alimentos, con la utilización de los productos que se obtienen con el uso de un biodigestor anaerobico.

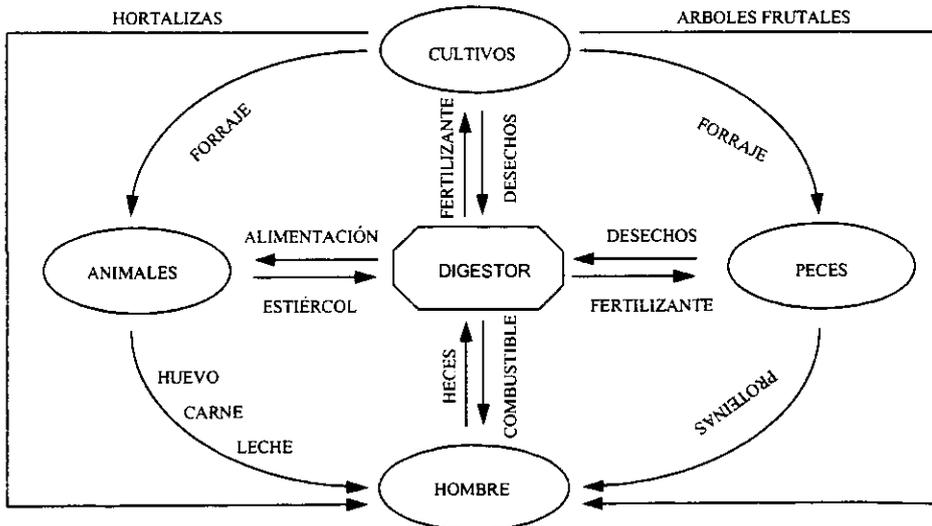
Cuadro 5 : Distribución de la superficie agropecuaria.

Ejidos y Comunidades	103,290	
Aparceladas	27,798	
Sin parcelar	75,492	58.3
Privada	70,493	39.8
Colonia	2,167	1.2
Pública	1,315	0.7
Total	177,265	100.0

FUENTE: INEGI, VII CENSO AGROPECUARIO, 1991

Así la importancia de un biodigestor dentro de un sistema de producción, es que esta unidad recibe estiércol y otros desechos orgánicos y forma combustible gaseoso (gas metano), y fertilizantes orgánicos para la agricultura y la piscicultura. El papel y la importancia del biodigestor en sistemas de producción, queda resumido en la figura 1. (Young, 1986).

Figura 1 .- Flujo de energía de una granja integrada.



FUENTE: MARCO YOUNG, 1986

En la mayoría de los casos, los objetivos y ventajas que se buscan en los sistemas de producción de manera integral son:

1. Multiplicar el uso de los recursos.
2. Maximizar rendimientos.
3. Ampliar el tiempo de cosecha basado en la diversificación de productos.
4. Comercializar los excedentes.
5. Buscar la autosuficiencia.

Para Baquedano (1979), estos sistemas integrados son aquellos que tienen un óptimo aprovechamiento de los recursos, es decir, en él convergen una serie de tecnologías que permiten un mejor aprovechamiento del agua, el suelo, energía, materia orgánica y los nutrimentos, hasta lograr un círculo continuo de reproducción donde es mínima o nula la participación de los agentes externos.

La integración de todos los elementos es una práctica común en países asiáticos (Baquedano, 1979), sin embargo en América Latina y en especial en México el desarrollo de estos sistemas es en general muy poco, es decir apenas se empieza a tener un desarrollo de esta tecnología.

La biodigestión anaeróbica es el principal componente dentro de un sistema integral y del cual se obtienen beneficios como en distintas fuentes (agua, nutrientes y energía), y factores (sanitarios, económicos y ambientales), que son explicados a continuación.

1.3.2 BENEFICIOS COMPARATIVOS CON OTRAS FUENTES

Los beneficios que se obtienen con el uso de biodigestores en cualquier sistema de producción ya sea intensiva o extensiva son muy importantes, principalmente si se

tiene carencia de elementos como agua, nutrientes, energía y factores en aspectos ambientales, sanitarios y económicos, que en su conjunto se reflejan de manera importante en la producción de cualquier actividad agropecuaria.

Estos beneficios se pueden ver reflejados en las comunidades rurales de manera importante, ya que se lleva a cabo una optimización de los recursos disponibles en la región. A continuación se describirán los beneficios comparativos de los elementos y factores que se pueden obtener al utilizar un biodigestor:

a) **AGUA** .- Un tema clave es la mejor incorporación posible de la unidad de producción al ciclo anual del agua y el descubrimiento de las formas más eficientes y menos costosas para que este recurso se mantenga en espacio y tiempo dentro de cualquier unidad de producción agrícola o pecuaria (Boege, 1994).

Con la utilización de un biodigestor es posible aprovechar de manera eficiente el agua que se utiliza en actividades cotidianas (agua de uso doméstico, agua de las unidades de producción agrícola y pecuaria, entre otras).

b) **NUTRIENTES** .- Para cualquier explotación agropecuaria la protección y mejoramiento de los suelos es muy importante, si tomamos en cuenta que el uso de fertilizantes químicos está fuera del alcance de los pequeños productores agropecuarios en su precio, y además si a esto le sumamos que su uso prolongado causa el empobrecimiento de los suelos, así como daños a la salud de las personas.

Durante el proceso de fermentación que se lleva a cabo dentro de un biodigestor anaerobico, se produce fertilizante orgánico (biofertilizante), con un buen nivel de nutrientes en nitrógeno, potasio y fósforo que además de ayudar a conservar los suelos y enriquecerlos con nutrimentos, ayuda al pequeño productor a solventar gastos de producción en fertilizantes químicos.

c) **ENERGÍA** .- Si consideramos que la energía convencional (eléctrica, petróleo y sus derivados entre otras), representa otro costo económico en el desarrollo de cualquier unidad de producción ya sea agrícola y/o pecuaria, donde los productores, principalmente pequeños tienen la necesidad de buscar fuentes alternas (leña, carbón, entre otros), para satisfacer necesidades tanto domésticas como de producción, que traen como consecuencia el deterioro de los recursos naturales. Con el establecimiento de un biodigestor se genera una fuente de energía alterna llamada "biogas" que con un aprovechamiento óptimo puede satisfacer la mayoría de las necesidades de cualquier tipo de productor.

d) **SANITARIOS** .- Si consideramos que los desechos orgánicos son generados primero por las prácticas agrícolas y pecuarias, generadas tanto por explotaciones comerciales, como por las de autoconsumo (prácticas de traspatio), y segundo por las actividades cotidianas en el hogar (desechos domésticos orgánicos), concentrándolos muchas veces cerca de la explotación y casa habitación, entonces dicha concentración pueden ocasionar o causar enfermedades infecciosas en los miembros de las familias, además de propiciar la proliferación de insectos (moscas, larvas, gusanos, microorganismos patógenos, etc.), que muchas veces afectan a la salud de la familia como de los animales en explotación y aunado a esto se generan olores desagradables.

Con la digestión anaeróbica prácticamente se elimina todo este problema, dado que el uso de los desechos es de manera inmediata y al incorporar el material fermentado a los terrenos agrícolas ya están libres de malas hierbas y plagas, así como de los malos olores desagradables.

e) **AMBIENTALES** .- El uso de esta tecnología permite la conservación del medio ambiente ya que promueve el ecodesarrollo dentro de una comunidad, en beneficio de los productores ya sea grandes o pequeños, colaborando así en la descontaminación por desechos orgánicos dentro de la región.

f) **ECONÓMICOS** .- Si consideramos que el proveerse de insumos (energía, agua, fertilizante), representa un gasto económico para el productor que muchas veces dificulta el proceso de producción o lo obstruye completamente. Con la implementación de un biodigestor se permite al productor abastecerse de estos insumos, permitiéndole mejores condiciones de explotación reflejándose en un ahorro económico en beneficio de él mismo.

De acuerdo con lo anterior e identificando la potencialidad de la biodigestión anaerobica, es necesario saber los antecedentes en la utilización de esta tecnología, la cual se presenta en el siguiente apartado.

2 ANTECEDENTES SOBRE LOS BIODIGESTORES

2.1 CONCEPTO.

En la actualidad se ha enfatizado el interés en los diversos países del mundo por buscar nuevas tecnologías, que posibiliten el equilibrio entre las diversas relaciones sociales de producción y el medio ambiente; en las últimas décadas se han desarrollado sistemas en diversos países como China, India, Guatemala y México, los cuales pueden cubrir este tipo de requerimientos, sin necesidad de invertir grandes cantidades de dinero y materiales para construirlas.

Un ejemplo de estas tecnologías son los biodigestores anaerobios, los cuales cubren el mayor número de necesidades sin hacer mayores gastos para su construcción, además de obtener varios beneficios como son: generación de gas, el cual se utiliza con fines domésticos, sirviendo también de energía para movilizar un pequeño motor, el cual sea capaz de generar electricidad; los efluentes que se generan son usados como fertilizantes de gran calidad, lo cual puede significar un ahorro considerable en el uso de fertilizantes químicos, por mencionar algunos de estos beneficios.

Hemos visto la importancia y utilidad que tienen las nuevas tecnologías, como los biodigestores en la búsqueda para lograr el desarrollo sustentable en las comunidades rurales; pero es indispensable saber que es un biodigestor y para ello es necesario dar su definición.

Para Marco Young "un digestor es un reactor donde se lleva a cabo una digestión o fermentación; es un sistema cerrado cuyo interior es anaerobio (carente de oxígeno) y dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar."

De esta manera se menciona la descripción de un biodigestor, en el cual se llevan a cabo múltiples reacciones generadas principalmente por microorganismos (acidificantes y metanogénicos), los cuales descomponen la materia orgánica proveniente de los desechos generados por el ganado (bovino, porcino, equino,), siendo estos los más utilizados, además de los restos que se generan de las actividades agrícolas; es preciso señalar que no todo el proceso es anaerobio o carente de oxígeno como lo describe el autor antes citado, sino que en una primera fase se generan bacterias aerobias, las cuales posteriormente son desintegradas por las bacterias anaerobias, siendo estas las que prevalecen y las cuales llevan a cabo todo el proceso dentro del biodigestor. Además, a medida que se va llenando el reactor la materia prima va desplazando el aire y con ello el oxígeno previamente contenido en el interior, es decir, que va a existir aire u oxígeno dentro del digestor pero va desapareciendo mediante otros factores que reaccionan dentro de este; otro de estos factores son los procesos de oxidación de la materia orgánica, los cuales consumen rápidamente el oxígeno del medio y por último los gases que se producen, (CO_2 , metano), también desplazan el aire que hay dentro.

A partir de esto, entonces diremos que "un digestor es un sistema vivo donde sustancias complejas son transformadas, en ausencia de aire, en nutrientes simples de asimilar por células vegetales y animales." (Arias, 1996).

Así, la importancia de un biodigestor dentro de un sistema de producción es que este recibe el estiércol y otros desechos orgánicos, agrícolas principalmente, los cuales son transformados en combustibles gaseosos (gas metano), además de fertilizantes orgánicos de excelente calidad y que son muy bien aprovechados por los cultivos agrícolas; pero también los sólidos que resultan de este proceso de biodigestión son utilizados como alimento para el propio ganado el cual forma parte de este sistema de producción.

De esta manera, la utilidad de un biodigestor es variada ya que puede servir como un instrumento muy útil en el desarrollo de las comunidades rurales, debido a que, en estas, el mayor de los casos no se sabe como aprovechar sus propios recursos, siendo uno de ellos el estiércol, ya que este es amontonado en los lugares donde tienen sus animales (casi siempre están cerca de la casa habitación), ocasionando malestares a los niños y amas de casa principalmente, como son: la transmisión de parásitos, malos olores, proliferación de insectos como moscas, moscos, etc., por mencionar solo algunos.

Hemos visto el concepto de biodigestor, pero es importante mencionar las partes que lo conforman, las cuales pueden variar dependiendo del autor o de las personas que lo realicen, de acuerdo a las características que se requieran en el lugar donde se implemente.

Así para Marco Young las partes que constituyen a un digestor son: "la pileta de carga, la cámara de fermentación o reactor, pileta de descarga, gasómetro y licor mixto, compuesto básicamente por la comunidad bacteriana y el sustrato." (vease en el capítulo 3), Siendo así que para poder entender mejor el proceso de biodigestión es necesario tomar en cuenta su desarrollo histórico.

2.2 DATOS HISTÓRICOS

En 1776 Volta descubrió el metano o también llamado "gas de los pantanos", y Humprey Davy en 1806, encontró una mezcla de gas carbónico y de gases ricos en carbono en las emanaciones gaseosas del estiércol que se encontraba en la superficie del agua. A este gas se le conoce como gas grisú debido al hecho de encontrársele en las minas de carbón.

Ochenta años después de haber sido descubierto el gas de los pantanos; Reiset confirma la presencia de gas combustible ante la proximidad de estiércol en descomposición. Al mismo tiempo, Schades y Fisher en Alemania, demuestran que bajo ciertas condiciones la fermentación anaeróbica de un vegetal muerto transforma la celulosa y la reduce principalmente a metano.

En 1884, Gayón atribuye la formación de gas combustible a la actividad de microbios anaeróbicos en curso de una fermentación de estiércol a 35 °C y hacia 1894, Omelianki hace patente que el fermento metánico es destruido a 75 °C. Posteriormente en 1899, Deherain y Dupont obtuvieron un gas que contenía 50% de gas carbónico.

Los primeros ensayos para una instalación que produjera metano datan de 1900 (1857 de acuerdo a otras fuentes) y se sitúa en una leprosería de Bombay, India. Se componía de un tanque fermentador o digestor, tubería de entrada de materia prima y de salida de biogas. La instalación funcionaría con estiércol de caballo.

En 1920, Imhoff desarrolla un método de fabricación continua de metano, introduciendo periódicamente una pequeña cantidad de sustancia orgánica en una gran masa en fermentación. Este es el principio de fermentación de fangos.

En 1932, M. Ducellier comienza a hacer mediciones sistemáticas sobre el estiércol. En 1941, con M. Isman (profesor en la Escuela Nacional de Agricultura de Argelia) se registra una patente sobre la instalación para producir gas del estiércol, estando basado el método en una fermentación anaerobia previa.

Algunas instalaciones se construyen durante la ocupación de Francia por Alemania y después de la guerra. Pero las fuentes de energía (petróleo en especial) abundante, y poco costosas hacen que la metanización se abandone poco a poco en los países industrializados.

Las únicas aplicaciones se refieren al tratamiento de plantas de purificación de fangos. Es después de 1970, principalmente por el aumento en el costo de la energía que se han reemprendido las investigaciones sobre la fermentación metánica. (*Montalvo, s/f*).

Hasta esas fechas el conocimiento sobre los microorganismos responsables en llevar a cabo el proceso fue somero. El conocimiento de la biología, fisiología y la bioquímica del grupo de bacterias encargadas en realizar la fermentación de desechos ayudó a mejorar el proceso y a dar un mayor auge a la investigación y aplicación de esta técnica.

Los trabajos en la India se continuaron y expandieron; en 1961 se fundó la Estación de Investigación de Gas Gobar y en 1971 se publicaron una gran variedad de diseños para plantas productoras de biogas.

En 1958, Mao-Tse-Tung recomendó, en el curso del desarrollo agrícola de China, propagar y promover la tecnología de biogas. Sin embargo, no es hasta 1972 cuando se realiza la primera prueba exitosa en la provincia de Sichúan, y a partir de 1976 esta tecnología es difundida en todo el país: En la actualidad, alrededor de siete millones de unidades de biogas llamadas "tipo chino" han sido instaladas. Se tienen reportes aislados de países en donde este tipo de tecnología está cobrando gran importancia, como es el caso de Corea (con más de 30,000 unidades instaladas), Indonesia, Pakistán, Tailandia, Las Islas Filipinas, Taiwan, Japón, Tanzania, Uganda, Bangladesh, Sudáfrica, Kenia y Botswana, entre otros.

En América el interés por el desarrollo y uso de la tecnología de biogas ha crecido constantemente durante la década de los setentas y países como México, EUA, Canadá, Brasil, Perú, Uruguay y Paraguay han publicado sus experiencias sobre el manejo y aplicación de esta tecnología." (*Galván Quiroga, Tesis. 1987*).

En el caso de México; FEXAC* comenzó a incursionar en el campo de la tecnología de los biodigestores anaerobios "desde la década de los 60's, construyendo en la Casa Ecológica Autosuficiente Xochicalli 1, el 1ero -escala 1:1- en el campo en 1972 (referencia 0), de tipo horizontal, continuo, de sedimentación, subterráneo y de 32m³, alimentado con estiércol bovino (90%), ovino (0.5%), esquilmos de plantas (5%, de forrajes terrestres y lirio acuático), papel sanitario y basuras orgánicas (1%) y aguas negras de una casa (3.5%)." (Arias, *Fundación de Ecodesarrollo XOCHICALLI*). Monitoreándose hasta 1977. Esto se realizó en Ozumba, Edo. de Méx.

Contemplando el desarrollo histórico de la biodigestión anaerobia y una vez identificada la importancia de transformar y aprovechar los recursos biodegradables, es importante saber cual es la utilidad que pueden tener los biodigestores en este proceso de aprovechamiento y de innovación de recursos con que se cuenta en las comunidades rurales.

2.3 UTILIDAD DE LOS BIODIGESTORES

En el proceso de biometanización, desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad alimentan a un digestor, " por la acción de microorganismos adecuados, la materia orgánica se transforma en biogas (una mezcla de bióxido de carbono y metano esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciéndose además lodos residuales empleables como mejoradores de suelos o fertilizantes". (Young, 1986).

El tratamiento de la materia orgánica mediante la digestión anaeróbica cumple así con tres funciones: a) Producir un gas combustible; b) Producir mejoradores de suelos, fertilizantes o complementos de alimentos forrajeros y c) Reducir la contaminación ambiental producida por la disposición de desechos no tratados. (Young, 1986).

* Siglas de Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, Asociación Civil.

Especialmente en las zonas rurales, ya que en estas se almacenan gran cantidad de desechos, producto de las actividades pecuarias de traspatio; y que afectan la salud de las personas que habitan estas zonas.

Como se mencionó anteriormente, los biodigestores son sistemas en donde se desarrollan procesos de transformación de la materia orgánica, los cuales por sus características, no permiten la entrada del aire; y los desechos orgánicos con los que son alimentados contienen organismos que no necesitan del aire para sobrevivir, dentro de estos se lleva a cabo un proceso de degradación de materia orgánica, que nos permite obtener diferentes tipos de materiales utilizables como son los efluentes y sólidos además del biogas (CO₂ y metano) que es utilizado como una buena fuente de energía, economizando gastos en otros productos como energía eléctrica, gas butano y fertilizantes químicos; los cuales representan un gasto excesivo en la economía campesina tradicional, la cual puede ser beneficiada al implementar un digestor

He ahí la importancia de la utilidad del biodigestor, ya que este puede ser una salida viable para aprovechar más eficientemente los recursos biodegradables y para comprender mejor este sistema describimos el proceso de biodigestión que se lleva dentro del biodigestor.

2.4 PROCESO DE BIODIGESTIÓN

Los desperdicios orgánicos son mezclados con agua para formar un lodo y ser alimentado continuamente al tanque de fermentación. Un gran número de transformaciones bioquímicas ocurren en estos sistemas, como el resultado de la acción de muy diversos grupos de microorganismos que degradan una amplia variedad de substratos. Entre los posibles substratos se incluye, por ejemplo, ligninas, celulosa, grasas, proteínas, ácidos grasos de cadena corta y larga, azúcares, alcoholes, cetonas y aminoácidos, los cuales serán transformados bajo condiciones anaerobicas.

Las reacciones bioquímicas básicamente afectadas por estas poblaciones microbianas involucradas en la digestión anaeróbica son reacciones de óxido-reducción en las cuales la energía producida por la oxidación de muchos substratos puede ser balanceada por la reducción de CO_2 a CH_4 . Muchos substratos oxidables pueden, en teoría, reemplazar el H_2 como reductor del CO_2 para transformarlo en metano. (Galván, Quiroga *et al.* 1987).

Los procesos de descomposición de materia orgánica pueden llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbicos) o en ausencia del mismo (anaeróbicos), dependiendo del tipo de microorganismos que producen la hidrólisis enzimática de la materia orgánica. Para la producción de biogas y residuos de estiércol o efluentes se emplean los procesos anaeróbicos.

La biodigestión se realiza en tres procesos degenerativos: a) Hidrólisis enzimática, en que los sólidos fermentables son convertidos en compuestos solubles; b) Acidulación, en que los compuestos solubles (azúcares), se convierten en ácidos orgánicos volátiles, como el acético, el bórico y el propiónico, y c) Metanación, en que los ácidos orgánicos volátiles se convierten en biogas mediante la acción de una familia de bacterias. Los procesos de digestión anaeróbica operan a presión atmosférica, con un nivel de pH en la mezcla de entre 6 y 8 y requieren control de la temperatura. La concentración de sólidos totales en la mezcla es generalmente entre 5 y 15%. La presencia de amoníaco o antibióticos pueden inhibir el proceso de digestión. (Young, 1986).

Para damos una idea más clara del proceso de biodigestión y la importancia que juegan los diferentes tipos de bacterias (metanógenas y las acidificantes) en él, se mencionará el resumen de este proceso, a fin de tener una mejor perspectiva de lo que sucede dentro de un biodigestor anaeróbico y no quedamos con la simple idea de que es un recipiente grande al cual se le vierten residuos animales y vegetales, a los cuales transforma en energía (gas metano) o abonos tratados y hasta ahí llegó el proceso.

Las bacterias productoras de gas metano, conocidas como metanogénicas, se encuentran entre los organismos más estrictamente anaerobios que se conocen e incluyen los siguientes géneros: *Metanococcus*, *Metanobacterium*, *Metanosarcina*, *Metanospirillum* y *Metanobacillus*. Usualmente las bacterias de estos géneros no son móviles, crecen con lentitud (3 días) y se encuentran en forma natural en estiércoles, pantanos y aguas negras. (Galván Quiroga, *et, al.* 1987).

Bien, entonces diremos que el mecanismo de la digestión anaerobia que conlleva a la producción de metano y abonos tratados, es realizado por varios grupos de bacterias, las cuales interactúan de manera asociada y en la cual sacan provecho unas de otras de su vida en común. La materia orgánica compleja, al ser introducida al digestor, es atacada por una comunidad bacteriana fermentativa que emplea enzimas extracelulares del tipo oxidasas, proteasas y lipasas. Como producto de esta despolimerización, se forman monómeros fácilmente fermentables. Posteriormente, en el transcurso de una fermentación ácida, se formarán ácidos grasos volátiles de 2 a 5 átomos de carbono (acético, propiónico, butírico, isobutírico, valérico e isovalérico), bicarbonato e hidrógeno. (Bryant, 1979).

Durante la siguiente etapa, íntimamente relacionada con la anterior y por la acción de las bacterias acetogénicas, los ácidos grasos de más de 2 átomos de carbono (propiónico, butírico), se transforman en acetato, bicarbonato e hidrógeno, con lo cual se evita la acumulación nociva de ácidos grasos volátiles como son los que tienen más de dos átomos de carbono y por el contrario, se favorece la producción acética que es el principal sustrato de las bacterias metanogénicas de la siguiente y última etapa (Mc Inerney, 1978). (Young, 1986).

En general, durante todo el proceso microbiológico ocurren una serie de reacciones enzimáticas que se ocupan de la materia orgánica a fermentar; una parte de esa materia orgánica se oxida con CO_2 y otra se reduce a CH_4 de lo cual resulta como

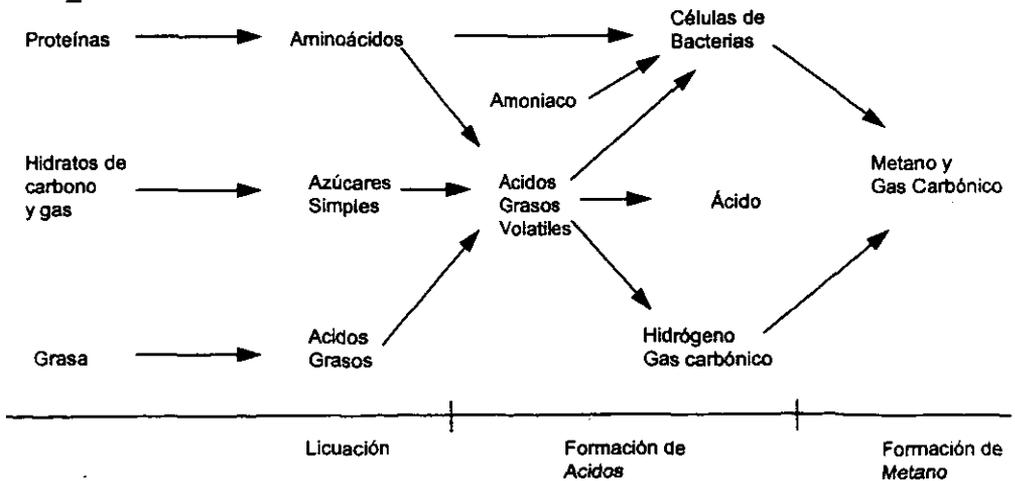
subproducto, el biogas compuesto básicamente por estos dos residuos gaseosos en proporción de 55-70% de metano y 45-30% de bióxido de carbono. (Young, 1986).

Dentro de este proceso de digestión, forman parte importante los principios químicos de fermentación anaeróbica, los cuales se describen a continuación.

2.4.1 PRINCIPIOS QUÍMICOS DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA

Podríamos describir la "digestión anaeróbica" como el proceso de estabilización de la materia orgánica en un medio sin oxígeno, principalmente a partir de bacterias. Este proceso involucra siempre a dos grupos de bacterias que actúan simultánea y equilibradamente, que son las bacterias acidificantes y las bacterias metanógenas. El accionar específico de ambos grupos, nos permite describir el proceso de fermentación anaeróbica que se presenta y el cual podemos separar en tres etapas: a) Licuación de la materia orgánica, b) Formación de ácidos volátiles y c) Formación de metano. (Baquedano, et. al. 1979) Como se muestra en el Esquema: 1.

Esquema 1 : Proceso de fermentación anaeróbica.



FUENTE: BAQUEDANO, MUÑOZ MANUEL. et. al., 1979

En la primera etapa de licuación, la materia orgánica que generalmente está en estado sólido o semisólido (en macrocélulas) es descompuesta por las bacterias en partículas simples (micromoléculas asimilables). Este proceso se realiza por la segregación de enzimas producidas por ellas y a otros fenómenos, principalmente por la hidrólisis de las grandes partículas solubles en agua. (Baquedano, et. al. 1979).

La segunda etapa es la formación de ácidos. En esta fase, estas mismas bacterias (aerobicas o anaerobicas) producen los ácidos acético, propiónico y butírico, principalmente (...) otra función de este grupo de bacterias acidificantes es la de eliminar el oxígeno del medio (interior del digestor). (Baquedano, et, al. 1979).

La tercera etapa o de reformación de metano, se caracteriza por la entrada en acción de las bacterias metanógenas las que, alimentándose de los desechos de las bacterias acidificantes, fabrican gases (entre ellos el metano). De ahí la denominación de biogas, pues es producido a partir de una acción biológica. (Baquedano, et, al. 1979).

Es importante aclarar que, existe una gran interdependencia entre ambos grupos de bacterias, ya que unas no podrían sobrevivir sin las otras, debido a que mientras los productores de ácidos eliminan el oxígeno y producen alimento para que puedan vivir las bacterias metanógenas, y estas a su vez eliminan los desechos ácidos y evitan que el medio se vuelva demasiado ácido, impidiendo así la sobrevivencia del primer grupo de bacterias. Pudiéndose producir metano sólo si existe un equilibrio entre ambos tipos de bacterias. Tomando en cuenta el proceso de biodigestión dentro de un biodigestor, pasemos ahora al manejo que debe dársele al mismo para tener un uso adecuado.

2.5 MANEJO DE LOS BIODIGESTORES

El adecuado manejo de los biodigestores anaerobicos según sea el fin para el cual sean implementados, va a ser decisivo, para su buen funcionamiento y desarrollo, ya

que depende del correcto uso e instalación de estos según sea su destino de acción. Si recordamos que los biodigestores pueden tratar desde estiércol animal (bovinos, porcinos, equinos, etc), residuos vegetales (cosechas y algunos desechos de varios tipos de plantas, etc.), hasta los desechos de aguas negras; esto representa un ahorro considerable en la economía campesina tradicional.

Por tal motivo, en el caso de las comunidades rurales, es importante conocer cuales son sus características, necesidades y potencialidades, a fin de poder implementar este tipo de tecnología en coordinación con ellos, de tal manera que estos aprendan como funcionan y lo puedan utilizar adecuadamente, teniendo así las bases para un buen manejo de estas tecnologías en su medio rural. Es por ello que se presentan a continuación los diferentes factores y parámetros para su adecuado funcionamiento y manejo, los cuales juegan un papel muy importante conjuntamente con el proceso de biodigestión, debido a que estos son parte de él.

2.5.1 DIGESTORES DE LABORATORIO vs MANEJO REAL

Una vez que se difundió el proceso de digestión anaerobia, controlando y variando en el laboratorio todos los parámetros operacionales, se pensó que se tenía resuelto el problema de aprovechamiento de una amplia gama de materiales orgánicos. Sin embargo los problemas prácticos impusieron multitud de obstáculos, ya que no es lo mismo imponer estrictas condiciones a una pequeñísima carga (de no más de 5 lts/carga) que manejar la realidad (con miles de lts/día), en donde no se puede ni lejanamente , llegar a tales controles.

De hecho una de las más fuertes limitantes al desarrollo de los biodigestores es, junto con considerarlos más bien como fuentes de energía, precisamente el fracaso de los tipos de digestores bajo la concepción de "laboratorio": "controlar la dilución, la relación C/N, los SV, el pH, la temperatura, el tamaño de las partículas,...., y además agítelo a

cada rato..." ¿Quién creen que lo hará en la realidad cotidiana?. Otra dificultad asociada es la de que, al no permitir la sedimentación-separación de los productos, ni colocar válvulas para poder sacarlos como existan dentro. Los digestores verticales usualmente tienen su origen en el laboratorio y experiencias en él. Cuesta más construirlos y operarlos, trabajo y dinero. Tanto el modelo Hindú como el Chino rurales, son los más conocidos de este tipo, dentro de los de mediana a alta dilución. Tienen además problemas de cortocircuitos² y complicada operación de extracción de lodos. Los efluentes no se diferencian adecuadamente, obteniéndose un producto mezcla SEDA y LEDA, difícil de usar en riego y de transportar con maquinaria existente en el campo pobre. El más costoso es el Hindú, pues la sola campana flotante para biogas puede costar lo que todo un digestor Chino o uno Xochicalli rústico". (Arias, *Fundación de Ecodesarrollo, Xochicalli*).

En todos los casos de modelos agitados, incluso en los horizontales, existe el riesgo de cortocircuitos señalados, además de lo difícil de su manejo. Cabe citar que dentro de la sucesión ecológica de microorganismos que se dan dentro del digestor anaerobio existen varios cocos (aerobios) capaces de resultar patógenos, así como *Clostridium*, productores de botulismo y otros (anaerobios), ANTES de que sean a su vez degradados y limitados por los metanogénicos que finalizan el proceso. La agitación resulta inútil, molesta y peligrosa.... La agitación en los digestores surgió de los de laboratorio, de carga por lote y donde se evalúan todos los parámetros bajo control, algo muy diferente de la realidad, más alejado aún para digestores continuos o semi; se trata de que se tenga un contacto más estrecho entre el sustrato y los microorganismos, a fin de disminuir el tiempo de detención total, como el que se puede tener en digestores por lote, algo irreal para otros tipos de digestores. (Arias, *Fundación de Ecodesarrollo, Xochicalli*).

² Producto no terminado que se obtiene a la salida.

2.5.2 MATERIA PRIMA UTILIZADA

La Materia Prima utilizada en la biodigestión es variada, ya que cualquier tipo de *desecho orgánico proveniente del ganado criado en un sistema de producción familiar o economía campesina*, puede ser de utilidad, aclarando que algunos van a dar mejor resultado en la producción de energía y de fertilizantes que otros, como por ejemplo el estiércol de ganado porcino y bovino, resultando esto de gran importancia, ya que en las comunidades de la zona de estudio estos animales son los que más se manejan.

Los materiales orgánicos que pueden tratarse mediante la digestión anaeróbica son muchos. Todos los estiércoles son aprovechables en biodigestores. De los que se han llevado a cabo más investigaciones son los de ganado vacuno o porcino, siguiéndole los de aves de corral (gallinas), caballos y carneros.

El estiércol de ganado vacuno es el más favorable ya que una vaca excreta aproximadamente el 8% de su peso vivo al día entre estiércol y orina, estando la mayor parte del primero triturado y semidigerido por microorganismos existentes en el rumen del animal. Por su parte, el estiércol de ganado porcino tiene un olor muy penetrante y posee una notable tendencia a bajar su nivel de pH durante el proceso de digestión, quizás por formarse grandes cantidades de ácidos volátiles grasos. El estiércol de aves de corral presenta limitaciones ya que es excretado en pequeñas cantidades por animal; pero por otra parte es el que contiene mayor porcentaje de sólidos volátiles y por tanto el que permite una mayor producción de biogas por unidad de estiércol fresco.

Las heces humanas presentan problemas en su manejo y no son comúnmente empleadas como materia prima de la digestión, salvo en los grandes sistemas de *tratamiento de desechos urbanos*. (FAO, 1983) Como se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6 : Rendimientos de materia prima de digestión

TIPO DE	KG/DIA	% DIGESTIÓN	M ³ GAS/DIA	M ³ LÍQUIDO
BOVINO	10	83	0.037	0.368
PORCINO	2,3	96	0.064	0.147
GALLINA	0,18	30	0.050	0.009
HOMBRE	0,4	80	0.071	0.028

FUENTE: BOLETÍN DE SUELOS DE LA FAO

Además de los estiércoles provenientes del ganado en la pequeña explotación campesina y de los desperdicios de las cosechas, nos encontramos con más compuestos orgánicos que pueden ser convenientes en el proceso de digestión anaeróbica como a continuación se muestra en algunos ejemplos.

Los compuestos orgánicos más convenientes para la digestión anaeróbica y la producción de biomasa son los siguientes: Así algunas características de algunas materias primas se muestran en el cuadro 7.

- Desperdicios animales, incluyendo paja, desperdicios de comida y estiércol.
- Desperdicios de cosechas: bagazo, yerbas, rastrojo. Paja y forraje podrido.
- Desperdicios de matadero, residuos animales, tales como: Sangre, desperdicios de pesca, cuero y desperdicios de lana.
- Residuos de agroindustrias como: aceite endurecido, desperdicios de frutas y vegetales procesados, bagazos y residuos de centrales azucareras, aserrín, residuos y semillas de tabaco, afrecho de arroz, residuos de té y polvo de algodón de las industrias textiles.
- Humus de bosques.

Cuadro. 7 :Características de algunas materias primas.

BOVINO	7.3	0.29	25	250-280	50-60
PORCINO	7.3	0.60	13	550-590	
EQUINO	10.0	0.42	24	200-300	
OVINO	16.0	0.55	29		
HUMANO	2.5	0.85	3		
PAJA DE CEREALES	46.0	0.53	87	300-350	55-60
HOJAS DE ÁRBOL	41.0	1.00	41	200-300	55-60
RESIDUOS DE AGUAS NEGRAS				600-650	50

FUENTE: BOLETÍN DE SUELOS DE LA FAO

Desperdicios que pueden ser utilizados en la Producción de Combustible para Energía y Abonos:

- Desperdicios Animales: Orina, huesos triturados, estiércol, cultivos animales, sangre y pedazos de pescado seco.
- Estiércol: Pollo, ovejas, vacas, cerdos y caballos
- Desperdicios vegetales: Alfalfa, algas, heno, trébol rojo, paja de avena, paja de trigo, aserrín.
- Desperdicios domésticos orgánicos: Cáscaras de frutas, de verduras, de comida, etc.

2.5.3 CARGA Y TIEMPO DE RESIDENCIA Y DE RETENCIÓN

CARGA

Este parámetro determina la cantidad de materia orgánica a introducir al digestor por unidad de volumen y por día. En relación con el tiempo de residencia, determina la

concentración máxima que entrará al digestor. En la práctica la carga volúmica se sitúa alrededor del 10% de materias secas, puesto que una mayor concentración vuelve más difícil la homogenización y disminuye la actividad microbiana. (Young, 1986).

TIEMPO DE RESIDENCIA Y DE RETENCIÓN

El tiempo de residencia es el período de tiempo que el material orgánico a fermentar debe permanecer dentro del digestor. Es uno de los parámetros que determinan el volumen útil del digestor: a mayor tiempo de residencia se requerirá un mayor volumen de digestor y por lo contrario, a menor tiempo de residencia, el digestor será más pequeño. (Young, 1986).

La producción de biogas, base sólidos volátiles, crece con el tiempo de retención acercándose asintóticamente hacia un valor máximo; por otra parte, en general, cuanto mayor el tiempo de retención menor la producción diaria de biogas. Este último factor hace deseable que el tiempo de retención en cualquier biodigestor, sea pequeño. Para reducirlo puede incrementarse la carga del digestor (a fin de mantener la concentración de sólidos volátiles) o bien diluir la carga alimentada, prefiriéndose habitualmente lo primero. (Young, 1986).

El tiempo de residencia no debe ser tan largo, de modo que inútilmente se mantenga dentro del digestor materia orgánica que ya esté tratada y que traiga como consecuencia el requerir una instalación más grande y costosa. Además de que el tiempo de residencia tampoco deberá ser demasiado corto a manera que ocurra una evacuación de las bacterias originando un tratamiento deficiente del sustrato, ocasionado por una corta exposición con las demás bacterias que llevan a cabo el proceso de biodigestión. Por lo tanto este período o tiempo de residencia deberá ser entre 20 y 30 días.

El tiempo de retención determina si la población microbiana se desarrollará hasta su máxima densidad permitida por el ambiente o en el caso de una digestión continua, si esta lograra mantenerse ya que si se da un tiempo de retención muy corto, el cultivo bacterial será continuamente lavado.

El tiempo de retención puede expresarse en función de la base sólida (masa bacteriana) o de acuerdo con la fase líquida (tiempo hidráulico de retención). El tiempo de retención de los sólidos se utiliza para fines teóricos, mientras que el tiempo hidráulico de retención se emplea para fines prácticos y es definido como el tiempo que toma reemplazar el volumen de la mezcla reaccionante inicial con mezcla reaccionante nueva a base de cargas y descargas continuas del material.

El tiempo hidráulico de retención (t) depende del periodo de fermentación del material y este a su vez está afectado por la temperatura del proceso, por lo que este tiempo se relaciona con el tamaño del digestor (V) y el volumen de carga y descarga (v) mediante la siguiente fórmula: (Galván, Quiroga, Tesis, 1987).

$$t = V/v$$

donde:

V = litros, galones, etc.

v = litros/unidad de tiempo.

La temperatura del digestor ejerce una influencia directa sobre el tiempo de residencia; a mayores temperaturas los biodigestores pueden operar con tiempos de residencia menores.

2.5.4 TEMPERATURA

Aunque la gama de temperaturas dentro de las cuales se puede realizar la metanogénesis es amplia, el proceso puede tener lugar entre 5 y 65 °C; sin embargo, es óptimo en 2 zonas de temperatura: 35°C (mesofílica) y 60°C (termofílica). Aunque a mayores temperaturas, las velocidades de reacción son máximas (con lo cual se podría disminuir el tiempo de residencia), es preferible trabajar en el rango mesofílico ya que a temperaturas de digestión altas, los rendimientos energéticos son más bajos, debido a las necesidades caloríficas para mantener al digestor a 60°C, esto a pesar de las cantidades apreciables de metano producido. En gran parte de México durante casi todo el año es posible encontrar temperaturas ambientales entre los 22 y 23 °C, oscilantes a las cuales el proceso, aunque no es óptimo, es eficiente. (Young, 1986).

Para poder entender mejor este proceso mencionaremos de forma más clara a qué se refiere este proceso de temperatura dentro del biodigestor anaerobico a fin de comprender mejor su desarrollo y manejo técnico.

La temperatura es un factor muy importante que afecta la tasa de fermentación de los desechos orgánicos. Esta afecta directamente el proceso al controlar los rangos de crecimiento microbiano. Según las temperaturas a las que ocurren, los procesos de digestión anaerobica pueden clasificarse en: (a) Sicrofílicos, que ocurren entre 10 y 25°C, los cuales tienen poca importancia por la pequeña tasa de actividad que presentan las bacterias metanogénicas que se desarrollan a esas temperaturas. El tiempo requerido para la digestión es de 80 a 100 días; (b) Mesofílicos, que ocurren entre los 35 y 42°C (entre 20 y 40°C y entre 30 y 37°C) que es el rango térmico más comúnmente empleado en los digestores convencionales. El tiempo que se requiere para realizar la digestión va de 33 a 50 días; y (c) Termofílicos, ocurren de 50 a 55°C (entre 45 y 65°C y entre 55 a 60°C), ocupando para completar el proceso un tiempo de 20 días, lo que lo hace más atractivo, ya que al disminuir el tiempo de retención, se

puede reducir el tamaño del digestor, reportándose además que en estas temperaturas altas se reduce más el contenido de patógenos. El inconveniente de este rango térmico es de ser más difícil el manejo del sistema, ya que hay que contar con el equipo necesario para proveer el calor suficiente, el cual se puede lograr quemando una parte del gas generado, o a través de calentadores solares, por lo que se requiere mayor cuidado del sistema y sólo en condiciones muy específicas es posible llevarlo a cabo. (Galván Quiroga, 1987).

2.5.5 pH

Este factor es uno de los más importantes parámetros a seguir, ya que controla estrictamente la digestión metánica. En la práctica un pH de 7.3 o más, sin sobrepasar el 8 es indicio de un buen proceso. Si el pH varía extremadamente de estos valores, ocurrirá una baja en la producción de biogas y su porcentaje de metano, con lo cual podrá dejar de ser combustible. Por otra parte, además, los efluentes del digestor estarían semitratados por lo que presentarían olores típicos a putrefacción, ocasionados por la acumulación de ácidos orgánicos. (Yuong, 1986).

Cuando el proceso de digestión está operando apropiadamente, las reacciones bioquímicas mantienen el pH en un rango adecuado. El pH es una función de la alcalinidad del bicarbonato del sistema, de la fracción de CO_2 en el gas generado y de la concentración de los ácidos volátiles. Durante las primeras etapas de la digestión, el pH disminuye debido a la producción de ácidos volátiles. En la segunda fase, los ácidos volátiles son destruidos y se producen los grupos bicarbonato, constituyendo de esta manera la capacidad de amortiguamiento del sistema. (Galván Quiroga, Tesis, 1987).

En general los digestores funcionando con deyecciones animales, no presentan problemas de pH; en cambio muchos desechos vegetales pueden ocasionar bajas

drásticas de los valores óptimos de pH. Las mediciones de pH pueden realizarse fácilmente con un potenciómetro manual o de laboratorio, y/o con papel indicador de rango corto; aunque con este último medio las lecturas pueden ser erróneas. (Young 1986).

Si se presentan sobrecargas en el biodigestor "muy largas o continuadas, o con alta concentración de productos demasiado ácidos o alcalinos, puede tenerse el caso de inhibición por pH". El rango de operación usual de las metanobacterias es entre 6.6 y 7.6, siendo el óptimo entre 7.0 y 7.2. Si el efluente es muy ácido (bajo de 6.6) la corrección es no sobrealimentar y, si es muy necesario, añadir algún alcali como Bicarbonato de Sodio o cal, en ese orden. (Arias, *s/f*).

2.5.6 RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO (C/N)

Otro parámetro que junto a la temperatura y al pH es importante para el proceso de digestión anaerobia dentro de un biodigestor, es la relación C/N, ya que "si la relación es alta, o sea con poca concentración de nitrógeno (N), traerá como consecuencia que algunas bacterias mueran por falta de este, empleando las restantes el N que contribuyen las células de aquellas. En el proceso de asimilación de este N, parte del carbono C se oxidará a CO₂, de esta forma la concentración de C en el fermentador se reduce cuando las bacterias recobran el N faltante. Entonces la digestión puede continuar, pero el proceso global será mucho más lento que si el material alimentado tuviera una relación más adecuada.

Si la relación es baja, por el contrario el C se terminará antes que el N, originando que el proceso de fermentación se detenga y posteriormente el material perderá el N remanente. (Monroy y Viniestra, 1981).

Lo que se busca o se requiere en la digestión anaeróbica es el de convertir lo más posible el carbono a CH_4 , con la menor pérdida que se pueda de N.

El carbono y el nitrógeno son dos de los principales elementos que se requieren por los organismos en la biodigestión como se mencionó anteriormente y estos deben estar presentes en una relación adecuada. Ya que si hay poco nitrógeno, las bacterias no pueden producir las enzimas necesarias para utilizar el carbono y si por el contrario, hay demasiado nitrógeno (amoníaco), pueden ocasionar una inhibición. Por ello el valor óptimo de la relación C/N está situado entre 20/1 y 30/1.

2.5.7 OTROS NUTRIENTES E INHIBIDORES.

ELEMENTOS NUTRITIVOS

Debido a que la digestión anaerobia se lleva a cabo por una acción bacteriana, es decir con organismos vivos, se requiere que en el sustrato alimentador vayan todos los elementos nutritivos requeridos para que los microorganismos aseguren su crecimiento y multiplicación.

Las demandas son simples, pues se requieren elementos que en general están ampliamente difundidos en la naturaleza: nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, potasio, sodio, calcio, magnesio y fierro. Normalmente los residuos a fermentar (excepto algunos de origen vegetal), poseen todos estos elementos.(Young, 1986) Cabe mencionar que debido a la alimentación del ganado (bovino, porcino, etc.), sus deyecciones contienen casi la totalidad de estos elementos, por lo cual no provocan problemas de deficiencias alimentarias.

INHIBIDORES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Los inhibidores pueden actuar debido a su presencia o a su elevada concentración. Algunos alcalinotérreos y nitrógeno amoniacal en elevadas concentraciones, alcoholes, fenoles, antibióticos (contenidos en los residuos), sulfuros, detergentes, etc., pueden inhibir el proceso. (*Young, 1986*).

Una vez conocido qué es un biodigestor, los procesos químicos y físicos que se realizan dentro del mismo, así como la importancia de su manejo y funcionamiento, podemos plantearnos el tipo y tamaño, adecuados a las necesidades de los interesados, a fin de que se le de un uso correcto, colaborando así en el desarrollo de las comunidades rurales a través de la organización, en donde no se exploten ni se desperdicien sus recursos sino que por el contrario se aprovechen.

3 TIPO Y TAMAÑO DE LOS BIODIGESTORES, SEGÚN USOS.

3.1 TIPO Y FORMA DE LOS BIODIGESTORES.

Una clasificación sencilla tomando en cuenta el diseño del digestor (posición) y el tipo de proceso empleado (continuidad en la alimentación), nos da varios tipos y formas de digestores.

Atendiendo el diseño de construcción, los digestores pueden ser horizontales y verticales, siguiendo el tipo de proceso empleado (particularmente al sistema de abastecimiento de la materia prima), podemos encontrar tres clases o formas de digestores. Los de carga continua o continuos, los de carga semicontinua y los de carga discontinua o de carga por lote. (Young, 1986).

Con las características antes descritas, es posible establecer una tipología que nos permita clasificar, en forma general, todos los digestores existentes en la actualidad. El cuadro 8 resume esta tipología y de ella se pueden deducir los siguientes digestores:

- a) Vertical Continuo.
- b) Vertical Semicontinuo.
- c) Vertical Discontinuo.
- d) Horizontal Continuo.
- e) Horizontal Semicontinuo.
- f) Horizontal Discontinuo.

Cuadro 8 : *Tipos de digestores*

	Continuo	Semicontinuo	Discontinuo
Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal

FUENTE: MARCO YOUNG (1986).

3.1.1 CONTINUO

Este tipo de digestores han sido desarrollado principalmente en las zonas rurales de la India, su alimentación es diaria, cada nueva carga que se realiza, empuja una masa de igual volumen hacia fuera, la cual ya ha pasado por el proceso de fermentación. (Baquedano, et, al. 1979).

Para este tipo de digestores ya sea horizontal o vertical, deberán utilizarse preferentemente excrementos animales frescos como materia prima (excrementos de bovinos, porcinos, aves, etc.). Estos digestiones son técnicamente más avanzados, los reactores registran su abastecimiento en un tiempo menor a las 12 hrs. (Young, 1986).

La necesidad de una alimentación continua, hace que este tipo de digestores sean particularmente aptos para la obtención de biogas y biofertilizante en forma continua. (Baquedano, et, al. 1979).

3.1.2 SEMICONTINUO

Este reactor de carga semicontinua es aquel que se abastece y se descarga en lapsos de tiempo relativamente cortos de 12 a 24 hrs. (Young, 1986). Son el tipo más usado en el medio rural para sistemas pequeños de uso doméstico, a esta clasificación pertenecen una gran cantidad de diseños de digestores, tanto horizontales como verticales un ejemplo es el digestor tipo Chino.

3.1.3 DISCONTINUO O DE CARGA POR LOTE

Los digestores de carga o régimen discontinuo también son llamados de "Batch" (Young, 1986) o de "carga por lotes" (Hernández, 1981).

Estos reactores han sido desarrollados principalmente en países como Francia, este tipo de digestor permite utilizar cualquier tipo de residuo o basuras, aún siendo estos de gruesa textura, sin riesgo de obstruir la instalación, ya que la masa orgánica debe ser reemplazada de una vez y en su totalidad luego de cada ciclo, pues en este sistema no hay cargas diarias. (Baquedano, *et. al.* 1979).

Este diseño se emplea cuando se tienen problemas de manejo en la materia prima, si la materia prima a digerir está disponible en forma intermitente o si el interés primordial es la obtención de abono en épocas específicas del año, así como también para trabajos de investigación a nivel laboratorio. (Saal, 1983; Baquedano *et. al.*, 1979). Un ejemplo claro es el biodigestor tipo Guatemala ú OLADE - Guatemala.

Tomando en cuenta esta clasificación, es necesario describir los distintos tipos de biodigestores que se han desarrollado en países tales como China, Guatemala, India y México, así como las ventajas y desventajas que presentan cada uno de ellos y de esta forma establecer el tipo de digestor propuesto para la zona de estudio a fin de que sea el adecuado de acuerdo a las características y necesidades de la misma.

3.2 BIODIGESTOR TIPO CHINO.

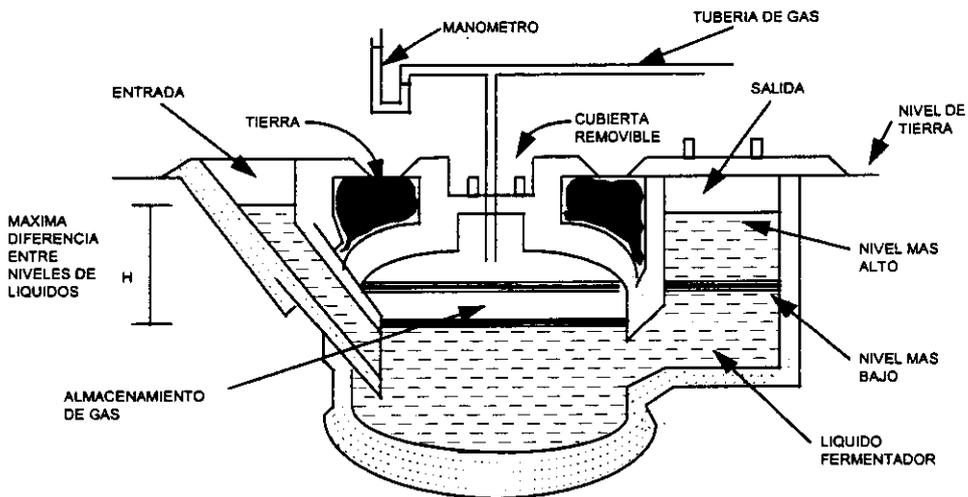
3.2.1 DESCRIPCIÓN

El digestor anaerobio tipo chino (Figura 2) reúne las siguientes características de diseño:

- a) Es monolítico (no tiene partes móviles).
- b) Sección circular, eje vertical (paredes cilíndricas).
- c) Achatado, relación altura/diámetro pequeño.
- d) Techo y fondo dómicos: sectores esféricos.

- e) Construcción bajo nivel del suelo (enterrado), para garantizar una estabilidad térmica alta.
- f) Cámaras de entrada y salidas laterales (diametralmente opuestas).
- g) Tapa removible en la parte superior del domo, perforada con el tubo de salida del gas.

Figura 2 .- Biodigestor tipo Chino



FUENTE: OLADE, 1981

3.2.2 VENTAJAS

Este digestor utiliza todo tipo de desechos agropecuarios, incluyendo excreta humana, recomendándose siempre el uso de mezclas de materiales. La técnica de operación china permite la digestión de material celulósico tal como pajas de cereales, pastos, hojas, etc.; a condición de cargar el digestor con material pre-compostado aerobícamamente. (OLADE, 1980).

La combinación de estas características permite obtener una estructura altamente resistente, con menor consumo de materiales de construcción para un determinado volumen interno y capaz de ser construido con materiales locales de costo reducido, puede ser construido con capacidades diversas, que dependen de la demanda de biogas y fertilizante requerido, así como de los desechos orgánicos disponibles, es particularmente adaptado a tamaños familiares. (OLADE, 1980).

Este diseño se adapta a climas variados, incluso en zonas templadas o frías, por su gran capacidad de aislamiento térmico que amortigua las variantes de temperatura entre estaciones y entre el día y la noche. (OLADE, 1980).

3.2.3 DESVENTAJAS

Su desventaja principal es que la inversión en su construcción es considerablemente alta a comparación de otros tipos de digestores, otra es que puede existir un cortocircuito en el proceso de fermentación por la posición de las válvulas de salida, así como su forma de operación requiere de una preparación de la materia prima. (OLADE, 1980).

Estos están hechos de ladrillos que se construyen por una técnica sencilla y conocida por los albañiles locales, aunque su construcción es lenta y relativamente más cara, siendo recomendable para terrenos arcillosos con un nivel freático bajo. (OLADE, 1981).

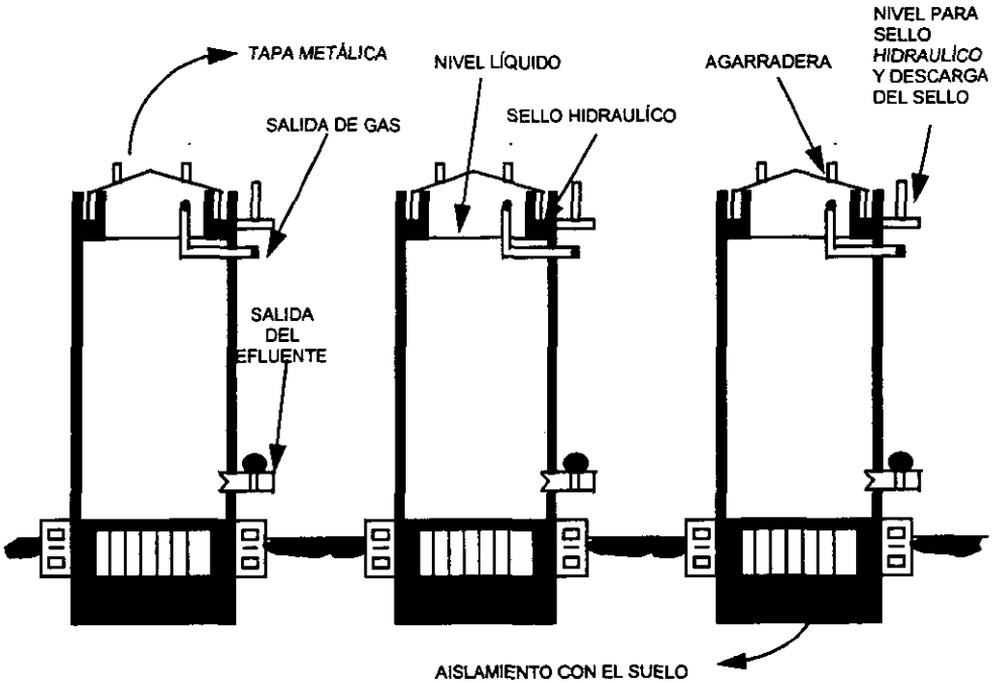
3.3 BIODIGESTOR TIPO GUATEMALA

3.3.1 DESCRIPCIÓN

La tecnología de los digestores discontinuos, por lotes o por tandas, desde sus inicios tenía por objetivo la producción a partir de la descomposición de desechos agrícolas de un gas combustible, la producción de fertilizantes era secundaria y el aspecto sanitario se reducía al reciclamiento de desechos que pudieran contaminar el medio ambiente. (OLADE, 1981). El digestor OLADE GUATEMALA (Figura 3), es discontinuo, pues su carga se realiza por tandas o lotes, es decir por tiempos determinados, teniendo las siguientes características:

- a) Forma cilíndrica o poliédrica.
- b) Eje vertical, con altura preferentemente igual al diámetro.
- c) Se construye sobre el nivel del suelo o semi-enterrado.
- d) Se apoya en una base subterránea (aislar la cámara de digestión, por cambios térmicos del suelo por la humedad).
- e) La carga se realiza por la parte superior del digestor, la cual se cierra por medio de una tapadera.
- f) La descarga de líquidos se efectúa por un tubo de drenaje colocado en la parte inferior.
- g) La descarga de sólidos se efectúa por la parte superior o por una compuerta lateral situada en la parte inferior.
- h) Cuenta con gasómetro.
- i) Tiene recipiente almacenador del gas. (OLADE, 1981)

Figura 3: Digestor tipo OLADE (Guatemala)



FUENTE: OLADE, 1981

3.3.2 VENTAJAS

Para su construcción se pueden utilizar materiales muy variados como ladrillos, concreto, lozas prefabricadas y de ferrocemento, su costo es dependiendo del material pero si se fabrica con ferrocemento corre el riesgo de filtraciones. (OLADE, 1981).

Se puede utilizar cualquier tipo de materia orgánica seca o verde.

Terminada la operación y bajo condiciones favorables la producción de gas se observa entre 4 y 10 días, puede generar gas en proporciones útiles por 40 a 50 días.

Posteriormente se realiza la limpieza, de modo que quede listo para la nueva carga. (OLADE, 1981).

3.3.3 DESVENTAJAS

Su mantenimiento, debido a que en los procesos de carga de materiales se levantan las tapaderas y/o gasómetro, y además que estas se encuentran sumergidas en un medio acuoso, se deben cuidar que se encuentren debidamente pintadas (pintura anticorrosiva). (OLADE, 1981).

Se tienen que revisar conexiones a lo largo de la tubería, por si existiera peligro de escapes.

En su operación, la tecnología utilizada en la materia orgánica es de baja dilución, pues se introduce del 40 al 60% de sólidos secos ya que su descomposición es lenta, siendo muchas veces necesario una pre fermentación aeróbica del material antes de introducirlo.

Se carga por capas de 30 cm. de espesor, se espolvorean pequeñas cantidades de urea al terminar de compactar cada capa, con el objeto de proporcionar alimento a los microorganismos, posteriormente se le agrega agua hasta cubrir los sólidos. (OLADE, 1981).

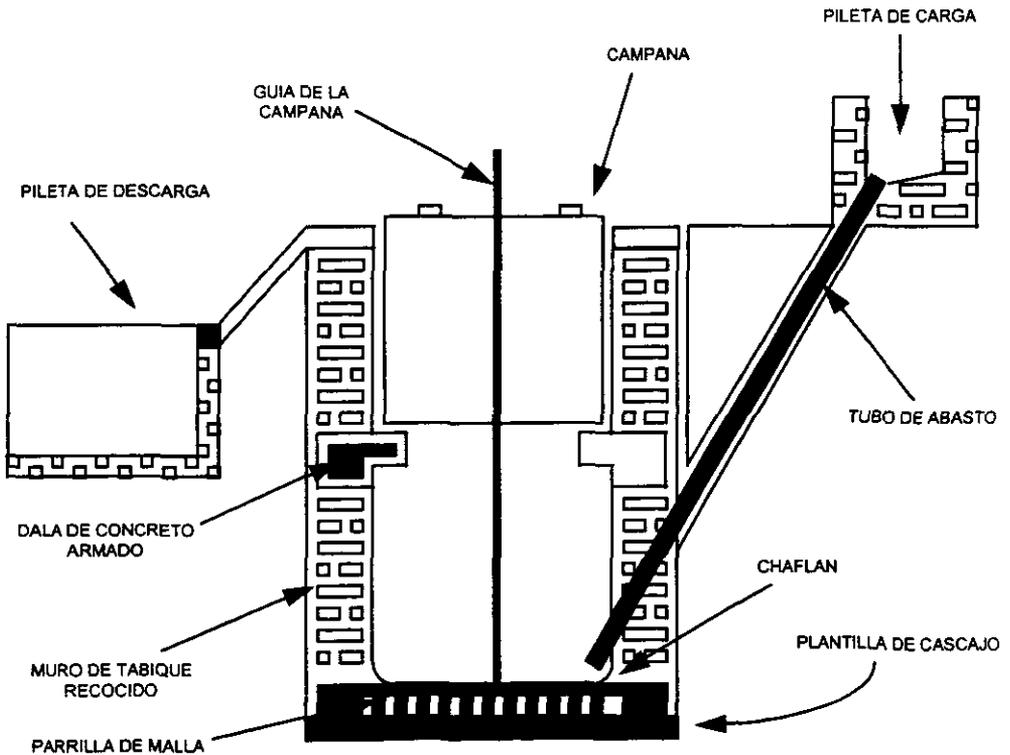
Se recomienda que se construyan baterías de este tipo de biodigestores, con la finalidad de contar en cualquier momento con biogas.

3.4 DIGESTOR TIPO HINDÚ

3.4.1 DESCRIPCIÓN

Existen varios diseños de estos digestores continuos, pero en general son verticales y enterrados, semejando un pozo, se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogas si se mantienen las condiciones de operación. (Figura 4).

Figura 4: Digestor Hindú



FUENTE: OLADE, 1981

La entrada de la carga diaria por gravedad es hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, según el diseño del sistema, los que hacen fluir hasta la pileta para su aplicación a los cultivos; entre sus características destacan:

- a) Normalmente se construye con ladrillos.
- b) Tiene un aplanado interior de cemento pulido (evitar filtraciones).
- c) La campana es de lámina de fierro o fibra de vidrio.
- d) Requiere de un gasómetro flotante.

3.4.2 VENTAJAS

Este digestor presenta una buena eficiencia en la producción de biogas, como la campana está a nivel del suelo, es fácil sacarla una vez al año para pintarla y al mismotiempo extraer natas, que se han formado en la superficie de la mezcla. Se tiene control sobre el material que se alimenta, lo que permite una operación uniforme.

El biodigestor hindú es muy satisfactorio y práctico, es simple para construir y mantener, si es operado inteligentemente, está libre de problemas. Es altamente recomendable, principalmente para el lanzamiento de un programa de biodigestores a nivel regional o nacional.(*OLADE, 1981*).

Su operación es de alimentación periódica, diaria y además de mezclar y alimentar virtualmente, no necesita ninguna atención, siendo de esto además limpio. (*OLADE, 1981*).

3.4.3 DESVENTAJAS

Su costo general es mayor que el de los digestores Chino y Xochicalli. Además que el producto que se produce es generalmente biogas y líquido efluente.

Los biodigestores deben ser instalados de preferencia en:

- a) Próximos a los locales de consumo del biogas.
- b) Próximos a los locales donde se produce el estiércol.
- c) En lugares asoleados.
- d) Donde exista disponibilidad de agua.

3.5 BIODIGESTOR TIPO XOCHICALLI

3.5.1 DESCRIPCIÓN

Este digestor consiste en una cantera en forma rectangular, horizontal, bajo el nivel del suelo, con gasómetro separado, su carga se realiza por un extremo y la descarga de líquidos efluentes y lodos digeridos, por el extremo opuesto. las salidas en este extremo son cuatro: biogas, espuma y nata sobrante, abono líquido y abono semi-líquido en forma de lodo. (OLADE, 1981).

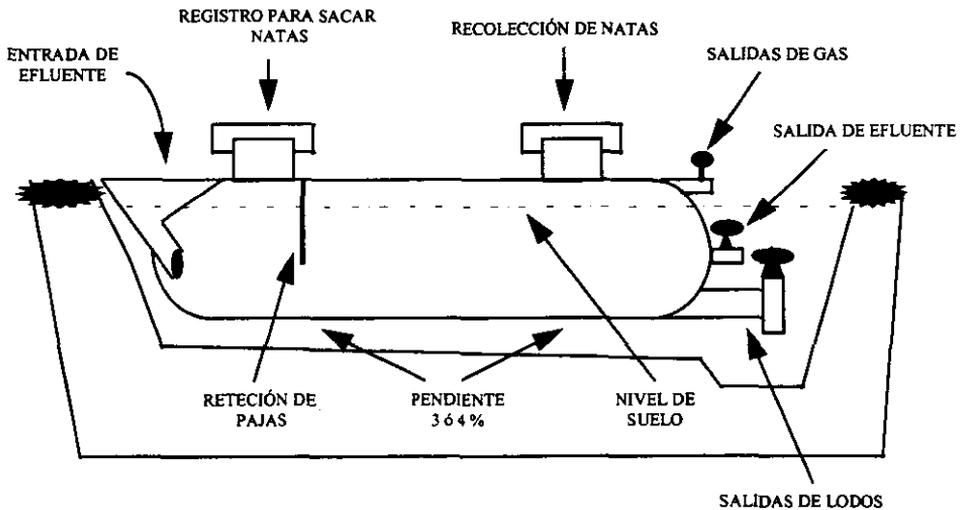
Llamado también Digestor-sedimentador Horizontal Xochicalli "dshX" (Arias, s/f). Como parte del proyecto Xochicalli, Casa Ecológica Autosuficiente, iniciado en 1974, donde se diseñaron y construyeron digestores, sin agitación ni calentamiento. (Figura 5).

Su operación puede ser de carga continua o semicontinua, su carga será a intervalos cortos o largos, según conveniencia.

Como materia prima para este tipo de digestores se puede utilizar basura orgánica, aguas negras, estiércoles, desechos industriales orgánicos, residuos de cosecha, etc., a la mezcla de sólidos introducida al digestor hay que añadirle líquido (agua y/o inóculos) hasta tener un 90% de dilución aproximadamente. (OLADE, 1981).

El digestor se carga todos los días con un volumen de mezcla determinado y se extrae el mismo volumen por vasos comunicantes hacia la pileta de descarga, evitando de este modo el uso de bombas. (OLADE, 1981).

Figura 5: Digestor Xochicalli (México)



FUENTE: ARIAS, 1998

3.5.2 VENTAJAS

Los materiales de construcción pueden ser cualquiera, pero se recomienda el ferrocemento de bajo costo. La versatilidad de la obra permite que esta se haga por

autoconstrucción, tiene aplicación desde una pequeña familia, hasta de tamaño industrial. (OLADE, 1981).

Este biodigestor puede localizarse en la fuente de la materia prima, de preferencia bajo el lecho de los animales aportantes. La topografía del terreno puede ser cualquiera, en razón de las condiciones de la obra. (OLADE, 1981).

Los factores que pueden incidir en la selección del sitio son:

- a) Donde existe pesebre o granja.
- b) Donde se obtenga algún producto biodegradable (concentración humana, basuras orgánicas, agroindustrias, jacintos de agua, rastros, pescadería, etc.).
- c) Donde exista un buen desnivel.

Arias (s/f), realizó otra clasificación, lo cual tiene otra ventaja importante ya que divide los productos en cuatro grupos, bien definidos y con usos múltiples:

- 1) **GEDA** (Gas Efluente del Digestor Anaerobio o biogas)
- 2) **NEDA** (Nata-celulosa de fibra larga Efluente del Digestor Anaerobio)
- 3) **LEDA** (Líquido Efluente del Digestor Anaerobio)
- 4) **SEDA** (Sólido Efluente del Digestor Anaerobio)

3.5.3 DESVENTAJAS

Estas son mínimas, ya que esta tecnología permite el aprovechamiento óptimo de la producción, ya que debido a su forma; los riesgos de que la carga llegue a tener un corto circuito en la fermentación es muy mínima. (OLADE, 1981).

3.6 DIGESTORES COMPLEJOS

3.6.1 DESCRIPCIÓN

Con respecto a las estrategias hechas por parte de los países desarrollados en cuestión del saneamiento, estos han realizado tecnologías que permiten aprovechar de manera óptima toda clase de desechos, principalmente aguas negras de los núcleos urbanos, evitando la contaminación.

Los tratamientos de estos desechos que los núcleos urbanos generan, son mediante la tecnología de biodigestores anaerobios complejos, entre los que destaca el Upflow Anaerobic Sludge Blanket "UASB" (*Hulshoff and Lettinga, 1986*), que tiene como función aprovechar las aguas residuales en gran volumen.

3.6.2 LIMITANTES

Entre sus limitantes se encuentran que sólo son utilizados para grandes volúmenes de desechos (aguas negras), únicamente se aplican en países desarrollados, se requiere de personal capacitado para poder controlar el proceso anaerobio, su costo económico es elevado, por lo tanto no es viable para el propósito de esta investigación.

Una vez conocidas las características de cada uno de los biodigestores, así como sus ventajas y desventajas; es necesario mencionar los productos que son obtenidos a partir de la digestión anaerobica, además de su uso y aprovechamiento en la producción agrícola y pecuaria, lo cual será tratado en el siguiente capítulo.

4 IMPORTANCIA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS

La importancia de los productos obtenidos en el proceso de digestión, al interior de un digestor anaerobico, incide en que estos, como se ha mencionado en los capitulos anteriores, son productos útiles, que pueden ser parte determinante, en el proceso de desarrollo de las comunidades rurales. Estos pueden ser mejor aprovechados y al mismo tiempo tener un uso adecuado en las pequeñas unidades de producción rural, mejorando los medios de producción y las relaciones sociales de producción al interior de las comunidades en el medio rural.

Por una parte se obtienen: agua; la cual al ser tratada mediante este proceso, es reutilizable, aplicándose en el riego, sin problemas de contaminación por substancias nocivas o tóxicas que al ir mezcladas con las aguas negras y aplicadas tal cual a los cultivos, traen como consecuencia enfermedades digestivas en el mayor de los casos, parásitos y demás problemas graves a la salud.

En el caso de los nutrientes, estos, son de suma importancia en el desarrollo de las plantas o cultivos, siendo los más importantes el N, P y K, ya que de estos dependen casi todas las funciones vegetales; el estiércol y demás desechos orgánicos al ser tratados mediante el proceso de digestión anaerobica, se transforman en abono con las características ideales que son requeridas en el metabolismo vegetal (y animal según sea el caso, ya que este también sirve como complemento alimenticio en la dieta del ganado), dado que en su forma simple, estos no se aprovechan adecuadamente por el suelo ni por los cultivos.

Por otro lado los energéticos, y es el caso específico del biogas, el cual aplicado correctamente, puede representar un ahorro considerable en el consumo de energía para los hogares rurales, debido principalmente al consumo de gas butano y electricidad que se consumen en estas.

En conjunto, estos beneficios resultado de la fermentación anaerobica, son los que determinan el éxito en la aplicación de biodigestores en el medio rural, el cual está cada vez más degradado por las malas políticas agropecuarias y por la degradación del medio ambiente, es por ello que ahí radica la importancia de los productos que resultan de este proceso, ya que estos nos ayudarían a mejorar estas condiciones, por ello se mencionan a continuación de manera más amplia.

4.1 AGUA.

El agua es uno de los elementos importantísimos en la vida de cualquier organismo, a través de los años este elemento se ha venido utilizando en todos los procesos de transformación, industrialización, aseo, lavado, sanitarios, riego y demás servicios útiles al hombre, es por ello que este líquido vital para toda la creación está siendo contaminado y sobreutilizado a tal grado de ponerlo en riesgo.

En el caso que nos ocupa a nosotros, la agricultura, el agua juega un papel determinante, debido a que sin ella, prácticamente no existiría esta actividad y por ende ninguna otra, no pudiendo ser posible la vida en el planeta. Como resultado de las actividades industriales y de servicios, además de los desechos urbanos, el agua que se ocupa en el riego, en lugares cercanos a estas y donde existen cuerpos de agua para desarrollar esta actividad, son aguas residuales o aguas negras, que ocasionan graves daños para la salud de los consumidores de los productos cosechados, siendo los productores y sus familias los más afectados, en el caso de que su producción sea de auto consumo, y la población en general si su producción es para un mercado mayor, siendo así que se deben tomar medidas encaminadas a la solución de estos problemas.

Mediante el proceso de digestión, el agua puede ser tratada y purificada de algunos de los contaminantes que acompañan a las aguas negras, resultando benéfico para la

agricultura, dado que no se contaminarían los cultivos, pudiendo además ser reutilizable para otras actividades como la piscicultura, dando muy buenos resultados.

4.2 NUTRIENTES.

El sistema de digestión anaeróbica (biodigestor), en algunos casos tiene la finalidad principal de ser una fuente de abono orgánico así como de proveer los elementos nutritivos para la dieta del ganado.

Los productos de valor fertilizante son dos: el líquido sobrenadante, que presenta un alto contenido de nutrientes en forma de sales disueltas y el lodo residual que contiene las sales y otros compuestos que no se disuelven (*Galván, Quiroga, 1987*).

Para el caso de la ganadería, los sólidos resultantes contienen elementos nutritivos de alta calidad, pudiéndose utilizar como complemento, revuelto con los alimentos para el ganado, dando como resultado un buen aprovechamiento de este por el animal. "En algunos lugares del país se emplea continuamente el estiércol de cerdo de una manera directa para complementar la dieta de vacunos en engorda; los resultados son satisfactorios, aunque con algunas dudas acerca de la calidad sanitaria del estiércol.

La digestión anaerobia podría contribuir a la estabilización del sustrato. Se ha mencionado incluso que el material digerido, contiene entre otras cosas, proteínas digeribles y una considerable cantidad de vitamina B₁₂ que es un factor de crecimiento de los animales". (*Maramba et. al. 1983, cit. por: Young, 1986*).

Los efluentes fermentados no deterioran el suelo (como ocurre con los fertilizantes químicos) sino que lo fortalecen ya que: "con abono químico se abona la mata, con abono orgánico se abona el suelo". (*Penagos, 1967. cit. por: Baquedano et. al., 1979*).

Los efluentes fermentados son excelentes como material abonero, debido a la alta concentración de nutrimentos y materia orgánica que contienen, los estudios realizados demuestran que los fertilizantes salidos del digestor contienen de 2 a 3 veces más nitrógeno asimilable que el mejor compuesto orgánico hecho al aire. (*Baquedano et. al., 1979*)

Por lo antes mencionado, podemos decir que la importancia de los nutrientes producto de la digestión anaeróbica radica en el ahorro de fertilizantes químicos, complementa adecuadamente la dieta del ganado, fertiliza el suelo, además de que contribuye a la descontaminación del medio, por sustancias y olores molestos. Por ello es importante tomar en cuenta los beneficios que trae consigo esta forma de aprovechamiento de recursos biodegradables.

4.3 ENERGÉTICOS

El gas producido durante la digestión anaeróbica de material orgánico consta de una mezcla de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) con pequeñas cantidades de otros gases. El metano es el hidrocarburo más simple y abundante y el principal constituyente del gas natural. (*Galván Quiroga, 1987*)

El uso del biogas como combustible salva a otros recursos energéticos, eliminando la necesidad de quemar otras fuentes naturales no renovables como petróleo, carbón mineral o leña. (FAO, 1979 cit. por: *Galván Quiroga, 1987*)

Los usos comunes del gas son tanto como un sustituto de combustibles para calentadores, quemadores, maquinaria agrícola y automotores en general o para la generación de electricidad por medio de una máquina generadora. (*Galván Quiroga, 1987*).

De ahí la importancia del biogas como energético, ya que contribuye al ahorro de energía, viéndose reflejado en la economía de los productores.

4.4 EXPERIENCIA EN EL USO DE LOS PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBICA

La experiencia en el uso de los productos de la digestión anaerobica, a través de los años ha sido extensa y con muy buenos resultados, es por ello que se mencionarán algunas experiencias en el uso tanto de efluentes para fertilización como para complemento en las dietas del ganado, a fin de mostrar los beneficios que trae consigo la práctica de este método.

a) Producción de Fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes a partir de la digestión anaerobica ha traído buenos resultados en los diferentes cultivos a los cuales se les han aplicado como a continuación se muestra en los siguientes ejemplos.

Galván (1984) experimentó con trigo en Chapingo, México, aplicando de 10, 20 y 30 m² de efluente digerido, obtuvo un incremento de grano y paja del 32, 49 y 77% respectivamente, en relación al testigo. Se observó que a medida que se incrementa el volumen del efluente aplicado, aumenta la producción de trigo. Aunque el rendimiento más alto se obtuvo con la combinación de la dosis más alta del efluente y la fertilización nitrogenada (30m³) de efluente y 120 Kg de nitrógeno/ha.

Aguirre (1985) y Warner (1983) indican que en los productos digeridos la reducción de olores ofensivos, de proliferación de moscas y la disminución de la difusividad de sus constituyentes en el suelo, son características que contribuyen para la reducción de la contaminación ambiental.

Mandujano *et. al.*, (1981) señala que un metro cúbico de bioabono producido diariamente, puede fertilizar más de dos hectáreas por un año a nivel de 200 Kg de nitrógeno; obteniéndose un incremento de la producción agrícola en aproximadamente 10 al 20% respecto al testigo.

Gómez y Viniegra (1979) realizaron un experimento en el estado de Morelos. Evaluaron la eficiencia del estiércol digerido como fertilizante orgánico en relación al estiércol fresco, al fertilizante químico (urea) y la mezcla de estiércol digerido con fertilización química. Todos se aplicaron en dosis de 80, 120, y 200 Kg de nitrógeno/ha en el cultivo de lechuga. Concluyen que no hay diferencia significativa en el rendimiento de las distintas fuentes de nitrógeno; observaron que a medida que se incrementaba la dosis de nitrógeno, aumentaba la producción del cultivo. Por lo anterior recomiendan el uso de biofertilizante en cultivo de hortalizas irrigados con líquido efluente.

Arias (1981) trabajando con maíz de temporal en Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, aplicó 0.5 litros de efluente (LEDA)/mata y dos aplicaciones adicionales de 0.3 litros de efluente entre escarda, comparándolo con el fertilizante químico en dosis recomendada por la SARH (ahora SAGAR), obteniendo los mayores rendimientos en efluente con 21.93 ton/ha de mazorca y 58.48 ton/ha de caña en fertilizante químico fue de 15.63 ton/ha de mazorca y 39.2 de caña, teniendo los más bajos rendimientos en el testigo con 9.45 y 16.2 ton/ha de mazorca y caña respectivamente.

Serrano (1993) en Chapingo, México utilizó LEDA en el cultivo de cebolla, usó la dosis de fertilizante recomendada (120-80-00) como testigo y la comparó con diferentes dosis de LEDA sola aplicada al suelo, y por último combinó con media dosis de fertilización recomendada también aplicada al suelo y LEDA foliar. El mayor peso del bulbo lo encontró con la mayor dosis de LEDA en combinación con $\frac{1}{2}$ dosis de fertilizante químico recomendada, sin embargo fue el que presentó la mayor infección

de ataques por hongos, la menor infección la presentó la de LEDA foliar, por lo demás en todos los tratamientos no se presentaron diferencias entre sí.

Ordeñana (1994) estudió la producción de jitomate, usando sustratos hidropónicos diversos, encontró potencialidades entre varios sustratos, particularmente los obtenidos a partir de lirio u otras plantas acuáticas adicionados con LEDA, permitiendo cosechas en ambiente controlado de cerca de 90 Kg por metro cuadrado al año aún en el caso de Chapingo.

Martínez (1994) en Santo Tomás Zempoala, Hidalgo, probó siete variedades de trigo con 4 tratamientos de fertilización, incluyó dos testigos (uno con la fórmula recomendada para la región y uno más sin fertilización) y dos dosis de LEDA (60 m³ aplicado al suelo y 12.4 m³ en forma foliar), encontrando diferencias debidas a la variedad pero no a los tratamientos de fertilidad. Únicamente el número de macollos se estimuló por la fertilización química, concluyendo que es mejor utilizarlo con alguna dosis de fertilizante químico.

Aguilar y Vales (1996) estudiaron la sustitución nutritiva de LEDA en el cultivo de crisantemo en maceta, concluyendo que es posible sustituir la solución nutritiva tradicional, obteniendo macetas de igual calidad o superior a las producidas con la solución nutritiva tradicional. Altas concentraciones de LEDA en la mezcla nutritiva producen una disminución en la altura.

b) Producción Pecuaria.

En una plática con el maestro Arias no comento que de acuerdo con los resultados en peces, pollos, porcinos, bovinos, cuyos, conejos, gallinas de postura, guajolotes, palomas, ovinos y caprinos, llevados a cabo desde 1974 los LEDAS resultan

magníficos promotores del crecimiento animal, ya que se ha comprobado que contienen proteína (fibra y fibrosa), vitaminas, minerales, carbohidratos y ELN (Efluente Líquido Nutriente), entre otros.

López (1996) demostró que el uso de LEDAs aumenta las ganancias de peso para cerdos en crecimiento como agua bebida. Disminuye el consumo de alimento diario y mejora la conversión alimenticia, además que promueve la construcción de digestores.

Arias Osorio, y Arenas Becerril (1996), evaluaron el efecto del LEDA en el agua de bebida de pollo en engorda, concluyendo que el uso de este, mejora la conversión alimenticia y por lo tanto también la eficiencia en el proceso de engorda del pollo; disminuye las enfermedades y la mortalidad, lográndose más engordas al año.

Beltrán López y Amendáriz Franco (1996). Evaluaron el efecto del LEDA en el agua de bebida de conejo en engorda, llegando a la conclusión de que el LEDA mejora la conversión y la eficiencia alimenticia, al tiempo de disminuir el consumo de alimento y agua; aminorando las enfermedades y mortalidad, así como un menor tiempo de engorda.

5 DIGESTOR PROPUESTO PARA EL MUNICIPIO DE CHALCO, ESTADO DE MÉXICO

5.1 DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA REGIÓN

Para poder plantear la implementación de un biodigestor, en una determinada región, es preciso saber si esta cuenta con las condiciones requeridas, para ello es necesario la realización de un diagnóstico, en el que se contemplen características Físicas, Económicas y Sociales.

Este diagnóstico del Municipio de Chalco, nos ayudará a conocer los recursos y potencialidades reales de las comunidades rurales en la zona de estudio, además de las necesidades básicas que tienen los habitantes de estas, tomando en cuenta sus características y sus actividades culturales, y de esta manera colaborar conjuntamente con los campesinos para lograr su integración al desarrollo regional.

En las características físicas se revisa el clima, el suelo, los recursos naturales, la geografía y la hidrografía; en las económicas se analizan las vías de comunicación, la agricultura, y la ganadería; por último, en las características sociales, se verá la tenencia de la tierra, la división política y otros aspectos poblacionales.

La utilidad de estas características en la presente investigación, radica en que estas nos dan el marco de referencia para poder lograr una adecuada planeación de los recursos con que cuentan los habitantes de las comunidades rurales del Municipio, logrando el desarrollo adecuado de sus características, necesidades y potencialidades.

5.1.1 LOCALIZACIÓN

El Municipio de Chalco se localiza en la parte Este del Estado de México, en la región 111.3 del Valle Cuautitlán-Texcoco. Partiendo del Centro Histórico de Chalco, al Norte limita con Ixtapaluca, el cual se localiza a 8 km. y se comunican mediante carreteras federales; al Sur con Temamatla, se localiza a 7 km. y comunica a través de 5 km. de vía federal y 2 km. de carretera estatal; Tlalmanalco, que se localiza a 13 km. y se comunica a través de 5 km. de vía federal y 8 km. de estatal; y Juchitepec con el cual se comunica a través de 5 km. de vía federal y 18 km. de estatal, además de Cocotitlán y Tenango del Aire; al Este limita con Ixtapaluca y al Oeste con Juchitepec y Valle de Chalco, que se encuentra a 6 km. comunicándose mediante carretera estatal. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*). Chalco tiene una extensión territorial de 23, 472 has, que representan el 1.08 % del territorio estatal.

5.1.2 DIVISIÓN POLÍTICA

Para su organización territorial y administrativa el Municipio se encuentra dividido en las siguientes localidades: (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*)

- Ciudad de Chalco de Díaz Covarrubias.
- 4 Barrios.
- 15 Colonias.
- 13 Pueblos

Siendo los pueblos los siguientes: La Candelaria Tlapala, San Gregorio Cuautzingo, San Juan Tezompa, San Lucas Amalinalco, San Marcos Huixtoco, San Martín Cuautlalpan, San Martín Xico Nuevo, San Mateo Huitzilzingo, San Mateo Tezoquipan Miraflores, San Pablo Atlazalpan, Santa Catarina Ayotzingo, Santa María Huexoculco. (*H: Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*)

5.1.3 CLIMA

El clima que predomina en el Municipio, es el templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Representando el 46.52 % del territorio, la temperatura máxima alcanza los 31°C y la mínima es de 8.2°C. Las precipitaciones pluviales oscilan entre 614 mm y 1000 mm, la máxima incidencia de lluvias se presenta en el mes de julio; el número aproximado de heladas es de 57 días por año. Le sigue el templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad con el 28.92 %; con el 24.16 % semi frío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

5.1.4 RELIEVE

El Municipio se encuentra ubicado en el eje neo volcánico que conduce a los lagos y volcanes de Anáhuac, rodeado por las formaciones geográficas de la Sierra Nevada y Río Frio al Oeste y Sur; la sierra de Santa Catarina, al Norte y Oeste. Cuenta con cinco elevaciones, entre las principales destacan: el Cerro de Papagayo con 3,360 msnm, el Ixtaltetlac con 3,280 msnm y el Tlapipi con 2,360 msnm. Del total de la superficie municipal el 26% es sierra, el 14.17 % lomerío, el 0.38 % con cráter, el 7.73% meseta, el 50.70 % llanura y el 1.02 % llanura con lomerío. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

5.1.5 HIDROGRAFÍA

El torrente pluvial que desciende de la Sierra Nevada da origen a dos ríos; la Compañía y Amecameca que al llegar a una cuenca del antiguo lago, son encauzados, el primero al Río de los Remedios y el segundo al Canal Nacional.

Cabe mencionar que ambas corrientes pluviales cuentan con un alto grado de contaminación, debido a las descargas industriales, comerciales y de servicios. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

Por lo que respecta a los recursos hidráulicos específicos en cada uno de los poblados, la fuente de abastecimiento de agua potable es el agua subterránea, la cual es captada por medio de pozos profundos. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

5.1.6 SUELOS

Los tipos de suelo predominantes en el municipio son:

CAMBISOL: Suelos con vegetación de pastizal y se usa para ganadería con buenos rendimientos o en agricultura en cultivos de caña de azúcar y arroz. En Agricultura proporcionan rendimientos de moderados a altos.

FLUVISOL: Pueden ser arcillosos, fértiles o infértiles en función del material que lo forma. Se usa para la agricultura, con rendimientos moderados o altos, en función del agua disponible y la capacidad del suelo para retenerla.

REGOSOL: Son suelos claros y sómeros; se usan para la agricultura, principalmente para sembrar granos, con resultados de moderados a bajos. En las sierras lo utilizan para uso pecuario y forestal, con resultados variables.

En cuanto a los suelos erosivos los encontramos en las partes altas y medias de las zonas con sierra, el suelo acumulativo pluvial lo encontramos en las faldas de la sierra y el suelo acumulativo aluvial en las zonas planas y el valle del Municipio. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

5.1.7 AGRICULTURA

Dentro del contexto agropecuario regional (Región III Texcoco), el desarrollo económico ha determinado un crecimiento poco integrado en relación al sector agropecuario. Este sector tiene un alto grado de descapitalización, bajas tasas de productividad y niveles de producción de una agricultura que presenta condiciones de subsistencia y atraso tecnológico, lo que ha provocado un alto desempleo y subempleo, caracterizado por un importante movimiento agrario, particularmente de gente joven hacia los centros industriales metropolitanos o bien a la ciudad de México. (*H. Ayuntamiento de Chalco 1997-2000*).

El paulatino pero acelerado crecimiento de la mancha urbana e influencia del D.F. ha provocado el deterioro y muchas veces la desaparición de tierras de labor. Al establecerse en estas, fraccionamientos simulados y asentamientos poblacionales irregulares, que trae como consecuencia una problemática socio-económica.

La superficie dedicada a la agricultura ha padecido de un verdadero apoyo tecnológico, ya que han sido insuficientes y/o mal planteados los programas de asistencia técnica, operados en años pasados. El funcionamiento de las unidades productivas se ha visto mermado debido a las altas tasas de interés de los bancos. Así el uso agrícola de chalco se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 9: *Uso agrícola de Chalco:*

8,154.1	34.73	7,314.21	89.7	839.9	10.3
---------	-------	----------	------	-------	------

FUENTE: H. Ayuntamiento de Chalco, Plan de Desarrollo Municipal 1997-2000.

Entre los principales grupos cultivables destacan los cereales y forrajes, correspondiendo al maíz y trigo, ser los preponderantes del grupo de los cereales y la alfalfa de los forrajes. En el cuadro 10 se muestran los principales cultivos:

CUADRO 10 : *Productos más importantes producidos en Chalco*

Cereales	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz. • Trigo. • Avena. • Cebada. • Sorgo
Legumbres	<ul style="list-style-type: none"> • Frijol
Hortalizas	<ul style="list-style-type: none"> • Tomate. • Papa • Zanahoria
Forrajes	<ul style="list-style-type: none"> • Alfalfa • Avena • Pastos • Remolacha

FUENTE: CENSO, 1991

5.1.8 GANADERÍA

Con el avance del desarrollo urbano en el Municipio, se ha estancado esta actividad y no cuenta con una infraestructura adecuada que le permita elevarse. El Municipio cuenta con el 5.6% de la superficie, lo que le representa 1,314.43 has. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

Las especies ganaderas con mayor importancia se describen en el siguiente cuadro 11:

CUADRO 11: Producción pecuaria

• Bovino	6,651 cabezas.
• Porcino	8,077 cabezas.
• Ovino	4,143 cabezas.
• Caprino	517 cabezas.
• Equino	2,111 cabezas.
• Gallinas	345,174
• Guajolotes	23,000
• Conejos	3,602

FUENTE: CENSO, 1991

Las principales explotaciones son realizadas en actividades de traspatio, existiendo una organización ganadera formada por productores.

5.1.9 TENENCIA DE LA TIERRA

En el Municipio de Chalco, la tenencia de la tierra se encuentra estructurada de la siguiente manera como se observa en el cuadro 12 : (H. Ayuntamiento de Chalco 1997-2000).

Cuadro 12 : Tenencia de la tierra.

1. Propiedad Privada	3,733.1	16
2. Propiedad Social	15,397.6	
• Ejidal	14,083.2	60
• Comunal	1,314.4	5.8
3. Propiedad Federal	4,271.9	18.2

FUENTE: H. AYUNTAMIENTO DE CHALCO, 1997-2000

En las últimas dos décadas se ha perdido una importante superficie con potencial agrícola para dar lugar a asentamientos humanos, zonas industriales y comerciales (tan sólo en el periodo 1985 a 1990 la superficie agropecuaria pasó a ser urbana en un 11.8%). Hasta principios de la década de los 70s, Chalco era eminentemente agrícola, dedicando el 46.5% de la población ocupada en el sector primario y el 75% de esta se dedicaba a la producción de maíz, produciendo además legumbres y cereales. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

5.1.10 COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Las vías de comunicación más importantes del Municipio son: vialidad regional, Autopista México-Puebla, carretera Federal México-Cuautla y carretera Chalco-Tláhuac, Chalco-Mixquic. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

La longitud de la red carretera en 1995 representaba 92.20 km., de los cuales la red principal representaba 26.80 (29.07%) km. pavimentados y la red secundaria 65.40 (70.93%) km. pavimentados y ningún camino rural estaba revestido. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

5.1.11 ASPECTOS POBLACIONALES

En cuanto al crecimiento de la población, en base al último censo de población y vivienda, Chalco presentaba un aspecto muy peculiar, pues la población parece descender a pesar de su constante urbanización. La población total para 1995 era de 175,521 hab. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

La densidad demográfica del Municipio se ha modificado substancialmente en los últimos años, pues entre 1990 y 1995, pasó de 1,031 habitantes por Km² a 639 hab. por Km², esto se debe a la separación con Valle de Chalco Solidaridad. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

Las tendencias recientes de la natalidad en el Municipio revelan un paulatino aumento: la tasa de natalidad pasó de 27.63 nacidos vivos por cada 1000 habitantes en 1990 a 52.76 en 1995. (*H. Ayuntamiento de Chalco, 1997-2000*).

El comportamiento de la migración en el municipio durante el período 1980-1990 expresa una tendencia positiva en cuanto a su crecimiento social, con una tasa de 11.33% mientras que entre 1990 y 1995 esta fue negativa.

5.2 JUSTIFICACIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR PROPUESTO

De acuerdo con las ventajas y desventajas, que encierra cada uno de los biodigestores estudiados, y considerando la situación en la que se encuentra el Municipio de Chalco, se llegó a la conclusión de proponer el uso del biodigestor tipo Xochicalli (dshX), el cual cuenta con mayores ventajas para su funcionamiento, por la adecuada utilización redituable de los desechos orgánicos, permitiendo impulsar un desarrollo sustentable; mejorando las condiciones de vida para generaciones futuras y el ahorro de recursos para la economía campesina tradicional.

Con los resultados obtenidos por medio del diagnóstico actual del Municipio, tenemos que; una parte de las comunidades presentan actividades agrícolas y pecuarias de manera importante, encontrándose con un gran potencial de recursos agropecuarios biodegradables para aprovecharlos de manera óptima y transformarlos en beneficios (económicos, ambientales y sanitarios), de esta manera se evitarían grandes

problemas por contaminación de desechos orgánicos, evitando la proliferación de enfermedades generadas por organismos nocivos al hombre. La digestión anaeróbica es una fuente alternativa de energía, ecológicamente equilibrada y de fácil obtención que cubre las necesidades de gas, combustible y alumbrado; además se aprovechan los residuos sólidos y líquidos de los digestores, representando un ahorro considerable en los gastos por estos conceptos y a la vez contribuye al desarrollo socio-económico de la región.

5.2.1 DIGESTOR XOCHICALLI (dshX)

El Digestor-Sedimentador-Horizontal Xochicalli, A.C. (FEXAC), es usado para excretas animales (frescas), desechos orgánicos y agroindustriales, recuperando:

1. GAS (GEDA). Conocido como biogas, excelente combustible para uso doméstico.
2. NATA (NEDA). Se utiliza como cama de pesebre, aditivo a ensilados, similar a composta fertilizada o sustrato agroindustrial, por ejemplo para la producción de hongos.
3. LIQUIDO (LEDA). Líquido efluente nutriente, el producto más abundante y más importante del digestor, pues, es un nutriente celular que actúa como inmejorable complemento alimenticio para animales y extraordinario fertilizante para cultivos agrícolas. Aplicándolo a las hojas (foliar) o en agua de riego en plantas.
4. LODOS (SEDA). Lo que se asienta en el biodigestor, es un abono orgánico de excelente calidad para fines agrícolas.

Podemos considerar además que:

- El agua sucia, los estiércoles y otros desechos, los transforma en agua limpia, energía y fertilizantes de buena calidad.
- Puede ser considerado como un negocio, tanto por su sencilla operación como su facilidad y bajo costo en su manejo y uso.
- Fomenta la práctica agropecuaria (traspatio, huertos familiares), este modelo está adecuado de acuerdo a las condiciones y necesidades de las comunidades rurales que practican actividades agropecuarias.

Para poder establecer las materias primas a utilizar en el digestor, es necesario tomar datos de un sólo productor (pequeño, mediano o grande), ya que en base a esto podremos evaluar tanto materias primas como volumen del digestor.

5.2.2 MATERIAS PRIMAS A UTILIZAR

De acuerdo con el diagnóstico del Municipio de Chalco, se tiene que; en las actividades agropecuarias, básicamente a nivel familiar, se generan desechos orgánicos, que sirven para la alimentación del biodigestor, siendo los principales:

- Estiércoles de bovinos, porcinos, ovinos, pollos, etc.
- Desechos agrícolas, rastrojos, desperdicios de ensilajes, pajas, etc.
- Desechos domésticos orgánicos.

5.2.3 CÁLCULOS REQUERIDOS PARA EL BIODIGESTOR

Si consideramos que en el municipio existen diversos productores (pequeños principalmente), y que estos presentan diferentes características, dado que no todos tienen la misma cantidad de especies animales, entonces en base a esto, el volumen del digestor se calculará de acuerdo a una encuesta aplicada a una familia (pequeño productor). Así bien los resultados se presentan en el siguiente cuadro 13.

Cuadro 13 : Resultados de la Encuesta.

VACAS LECHERAS	5
CERDOS	4
CABALLOS	2
BORREGOS	15
GALLINAS	10
DESECHOS/DOMÉSTICOS	2 kilos diarios

FUENTE: Encuesta aplicada a una familia

Para determinar el volumen del biodigestor se requiere tomar en cuenta los equivalentes vaca de los materiales orgánicos a digerir, mostrada en la tabla 1. (FEXAC/J.A.CH., 1989)

TABLA 1 : *Equivalentes-vaca de Materiales Orgánicos a Digerir.*

ANIMAL	EQUIVALENCIA
TORO	1.1 A 1.25
GRANDE	1.1 A 1.25
CABALLO MEDIANO	0.8
CHICO	0.4 A 0.6
RES DE 3 MESES A 2 AÑOS	0.4
TERNERA DE NACIDA A 3 MESES	0.08
VERRACO, CERDA MAYOR DE 70 Kg.	0.2

Continuación.....

ANIMAL	EQUIVALENCIA
PUERCO MENOR DE 70 Kg., GORDO	0.08
CRÍAS	0.016
OVEJAS	0.08
CORDERO	0.04
GANSO O GUAJOLOTE	0.016
PATO O CONEJO	0.008
GALLINAS	0.0033
HOMBRE	0.016

FUENTE: Xochicalli Texac, 1999.

NOTAS: 1.-La unidad es una vaca de 600 kgs., totalmente estabulada

2.-Producción de biogas/día por equivalente vaca = 3 a 5 m³.

3.-Requerimiento de volumen de digestor por equivalente vaca, considerados los factores de seguridad en el manejo real:

- 2m³ para climas calurosos, con protección
- 3m³ para climas templados fríos, con protección.

4.-El volumen mínimo es de 3,000 lts. para una familia de 5 miembros y visitas normales

De tal manera que es indispensable realizar las operaciones correspondientes, dado que el pequeño productor realiza sus actividades de muy diversas formas, por ejemplo, sus vacas sólo permanecen en el pesebre durante la noche, al igual que otros animales (gallinas, borregos y caballos), así se tiene que:

PARA LAS VACAS LECHERAS; SU EQUIVALENTE-VACA ES:

5	14	400 kg.
---	----	---------

⇒ Entonces, para el tiempo:

24 hrs ————— 1 E. VA.

14 hrs ————— ? E. VA.

R = .5833 hrs E. VA.

⇒ Para el peso:

600 kg ————— 1 E. VA.

400 kg ————— ? E. VA.

R = .6666 kg E. VA.

⇒ Por lo tanto:

$(.5833) (.6666) = .3888 \text{ hrs/kg.}$

$(.3888) (5) = 1.944 \quad (3) = 5.832 \text{ m}^3$

EN LOS CERDOS:

4	24 hrs	70 kgs	0.2

Entonces:

$4 (0.2) = .8 \quad (3) = 2.4 \text{ M}^2$

PARA LOS CABALLOS:

2	14	MEDIANO	0.8

Entonces para el tiempo:

24 hr ————— .8 E. VA.

14hr ————— ? E. VA.

R = .4666

Por lo tanto:

$$(.4666) (2) = .9333$$

$$.9333 (3) = 2.799 \text{ M}^3$$

EN LOS BORREGOS:

NÚMERO DE BORREGOS	TIEMPO EN HORAS	E. VA.
15	12 hrs	.08

Entonces:

$$24 \text{ hrs} \text{ — } .08 \text{ E. VA.}$$

$$12 \text{ hrs} \text{ — } ? \text{ E. VA.}$$

$$R = .04$$

Por lo tanto $.04 (15) = .6 (3) = 1.8 \text{ m}^3$

PARA LAS GALLINAS:

NÚMERO DE GALLINAS	TIEMPO EN HORAS	E. VA.
10	11 hrs	.0033

Entonces:

$$24 \text{ hrs} \text{ — } .0033 \text{ E. VA.}$$

$$11 \text{ hrs} \text{ — } ? \text{ E. VA.}$$

$$R = .0015$$

Por lo tanto: $.0015 (10) = .0151 (3) = .0453 \text{ M}^3$

Ahora bien, después de realizar las operaciones correspondientes tenemos que el volumen total del biodigestor se muestra en el cuadro 14.

CUADRO 14 : Volumen Total del Biodigestor.

VACAS LECHERAS	5.832
CERDOS	2.4
CABALLOS	2.799
BORREGOS	1.8
GALLINAS	0.0453
TOTAL	12.8763
REDONDEANDO	13

FUENTE: RESULTADOS DE ACUERDO AL CUADRO 13

De acuerdo al volumen del digestor se procederá a realizar su inversión en el siguiente apartado.

5.2.4 MANEJO

Para establecer el manejo apropiado del biodigestor, es necesario calcular antes que nada la cantidad de materia orgánica a digerir, la cual se requiere para alimentarlo diariamente.

De manera que si a un m^3 de espacio le caben 1,000 litros de agua, entonces para llenar el biodigestor se requieren de 13,000 litros de sustrato a digerir. El llenado se realizará diariamente de modo que en el día número 30 se tenga completamente el llenado de este. Ahora bien, realizando las operaciones correspondientes tenemos que el volumen de materia orgánica a introducir es de 433.3 litros/día, para que cuando se llegue al día número 31 se recolecte la misma cantidad de efluente listo para ser aprovechado.

Durante todo este proceso, es necesario llevar a cabo el registro de pH y la temperatura principalmente, para evaluar el proceso de fermentación, tomando en cuenta los valores o niveles óptimos descritos en capítulos anteriores.

El biodigestor debe estar enterrado para que conserve una temperatura uniforme y no sea influenciado por las inclemencias del tiempo, debe aprovecharse al máximo la gravedad para recolectar sus productos generados y además debe asegurarse que no tenga filtraciones.

Cabe señalar que el manejo no siempre es el mismo y que todo depende en qué lugar se instale el biodigestor, dado que pueden influir los siguientes puntos.

- Tipo de suelo.
- Cercanía con las materias primas
- Manera de alimentarlo

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA INVERSIÓN.

La evaluación lleva consigo un análisis sistemático y objetivo del desempeño futuro de un proyecto en relación con sus objetivos. En términos generales una evaluación trata de los siguientes puntos (*Dennis J. y Krishna k. 1990*):

- La justificación lógica del proyecto expuesta en los documentos de preparación ex ante (antes de iniciar la puesta en marcha).
- Determinar la adecuación del proyecto para superar las limitaciones identificadas en el desarrollo agrícola y rural y de ese modo promover los cambios deseados.
- Estimar la eficiencia de los procedimientos de ejecución del proyecto y la calidad.
- Determinar la eficiencia económica del proyecto.
- Determinar los efectos y las repercusiones del proyecto.

Así dadas las características que conforma un biodigestor en su utilidad y productos generados, consideramos que no persigue lucro, dado que su influencia es directamente hacia el interior de la unidad de producción en primera instancia, además consideramos que estos productos no tienen un valor económico específico, adquiriéndose así la modalidad de un proyecto social.

La evaluación social del proyecto compara los beneficios y costos que una inversión pueda tener para la unidad de producción o la comunidad. Tanto la evaluación social como la privada usan criterios similares para estudiar la viabilidad de un proyecto, aunque difieren en la valorización de las variables determinantes de los costos y beneficios que se les asocian. Así pues, la evaluación social se realiza mediante precios sombra y o sociales, estos últimos con el objeto de medir el efecto de implementar un proyecto en la comunidad o unidad de producción. Por otro lado, la evaluación privada trabaja con precios de mercado (persiguiendo siempre el lucro de un bien o servicio creado). (Sapag, 1989).

Socialmente, la técnica busca medir el impacto que una determinada inversión tendrá sobre el bienestar de una unidad de producción o comunidad. A través de la evaluación social se intenta cuantificar los costos y beneficios sociales directos, indirectos e intangibles, además de las externalidades que el proyecto pueda generar.

5.3.1 INVERSION PARA LA FABRICACIÓN

En primer término es necesario saber que las inversiones para cualquier efecto de cálculo se clasifican desde el punto de vista económico en fijas, diferidas y capital de trabajo, en conjunto estos tres tipos de egresos comprenden la inversión total.

Inversión fija .- Son aquellas que tienden a permanecer inmovilizadas durante la puesta en marcha del proyecto, son bienes tangibles que se adquieren generalmente al inicio de este, teniendo una duración a largo plazo , éstas intervienen directamente en el proceso de producción. Además están sujetas a la depreciación y obsolescencia, a excepción del terreno, de acuerdo con la Ley del Impuesto sobre la Renta.

Inversión diferida .- Estas inversiones se realizan en bienes y servicios intangibles, los gastos y cargos se denominan así por su recuperación en largo plazo, difiriéndose año con año en los gastos de operación.

Capital de trabajo.- Desde el punto de vista práctico está representado por el capital adicional que se requiere para que el proyecto se ponga en marcha; ésto es, hay que financiar la producción antes de recibir ingresos, entonces debe comprarse materia prima, pagar mano de obra directa que la transforme, otorgar créditos y contar con cierta cantidad en efectivo para sufragar los gastos diarios que exija el proyecto.

En el cuadro 15 se detallan los gastos que se requieren para construir el biodigestor de acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, es decir cuánto tenemos que erogar para construir un biodigestor de 13 m³.

Cuadro 15: *Materiales y costos necesarios para construir un Biodigestor*

	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
1	Malla electrosoldada	rollos	4	93.0	372.0
2	Malla hexagonal	rollos	2.0	300.0	600.0
3	Alambrón cal .635 cm.	Kg.	28.5	12.4	353.4
4	Cemento	Ton.	3.0	1,262.0	3,786.0
5	Arena de río	m ³	9.0	15.0	135.0
6	Alambre recocido	Kg.	22.5	6.0	135.0
SUBTOTAL					5,381.4

Continuación.....

	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
				(\$)	(\$)
7	Grava	m ³	2.5	15.0	37.5
8	Varilla	Unidad	8.0	64.0	512.0
9	Niple de 5.1 cm. de 0*0.35 mts. de largo	Unidad	1.0	75.0	75.0
10	Niple de 5.1 de 0*.50 mts. de largo	Unidad	1.0	9.5	9.5
11	Niple de 5.1 de 0*.90 mts. de largo	Unidad	1.0	13.0	13.0
12	Tubo de plástico de 20cms. de diámetro	mts.	1.5	24.0	36.0
13	Lámina galvanizada cal. 24	m ²	1.6	623.0	996.8
14	Solera de 2.54 cm.	mts.	2.3	35.0	80.5
15	Tuercas de presión de 1.9 cm.	Unidad	7.0	8.0	56.0
16	Niple con cuerda corrida de 1.9 cm.	Unidad	1.0	10.0	10.0
17	Liaves de paso de 1.9 cm.	Unidad	7.0	31.5	220.5
18	Reducción de campana 5*1.9 cm de pvc	Unidad	2.0	6.7	13.4
				SUBTOTAL	2,060.2

Continuación.....

	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
19	Tubo de 5 cm. de diámetro	cm.	30.0	0.5	15.0
20	Lámina galvanizada cal. 24	m ²	24.0	66.4	1,593.6
21	Llaves de 1.27 cm. del 0	Unidad	2.0	20.0	40.0
22	Tuercas de presión de 1.24 cm. del 0	Unidad	4.0	5.0	20.0
23	Tubo galvanizado de 1.9 cm. del 0	mts.	4.0	30.5	122.0
24	Codos de acero galvanizado de 1.9 cm. del 0	Unidad	2.0	4.0	8.0
25	Tubo plástico	mts.	20.0	4.8	96.0
26	Tapón capa de 5 cm. del 0 pvc	Unidad	1.0	12.0	12.0
27	Válvula de plástico	Unidad	1.0	171.0	171.0
28	Válvula especial o similar de 10 cm. del 0	Unidad	1.0	1,847.0	1,847.0
29	Plástico cristal espesor 0.4 mm	m ²	31.0	4.0	124.0
SUBTOTAL					4,048.6

Continuación.....

	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
30	Masilla o sellador	kg.	11.0	1.0	11.0
31	Cable de acero tensado de .32 cm.	mts.	10.0	15.0	150.0
32	Cal	kg.	50.0	1.5	75.0
33	Pintura anticorrosiva	lts.	5.0	14.0	70.0
SUBTOTAL					306.0
TOTAL					11,796.2

Ahora bien para obtener la inversión total, se muestra en el siguiente cuadro.

INVERSION	
INVERSIÓN FIJA	
Precio del Terreno	1,000
Obra Fisica	11,796.2
TOTAL INVERSIÓN FIJA 12,796.2	
INVERSIÓN DIFERIDA	
Gastos de Puesta en Marcha	500
Mantenimiento de Obra	2,000
TOTAL INVERSIÓN DIFERIDA 2,500	
TOTAL DE INVERSIONES	
	15,296.2
CAPITAL DE TRAEAJE	
	10,000
DIFERENCIA	
	5,296.2

Así, la decisión para establecer si un biodigestor puede ser rentable o no, es explicada en el siguiente apartado dado que sus beneficios influyen de manera importante en varios aspectos descritos anteriormente.

5.4 BENEFICIOS

El agro mexicano se encuentra dentro de una crisis y al mismo tiempo en un círculo vicioso; no ha aumentado su producción y productividad, ya que se importan más productos agropecuarios que los que se exportan, reflejándose en la cartera de los productores nacionales, dando como consecuencia elevados costos de insumos y requerimientos para su producción y agotándose los recursos de financiamiento, sólo por mencionar algunos problemas.

Así mismo, para el Municipio de Chalco, cuya actividad primordial era eminentemente agrícola y pecuaria, con el transcurso de los años la explosión demográfica ha sido de los problemas más grandes que han afectado esta actividad, en cuanto a su desaparición, afectando los recursos naturales endémicos de la zona y presentando problemas por contaminación; por ejemplo, los campos de cultivo están siendo sustituidos por unidades habitacionales, así como el establecimiento de industrias.

Si bien, esto representa un desarrollo para el Municipio, en términos generales, este desarrollo implica una sustitución de las prácticas agropecuarias. De acuerdo con el diagnóstico actual del Municipio, tenemos que; una gran parte de las comunidades presentan actividades agrícolas y pecuarias de manera importante, encontrándose con un gran potencial de recursos agropecuarios. Para aprovechar de manera óptima estos y transformarlos en beneficios (económicos, ambientales y sanitarios), es necesario tomar en cuenta el desarrollo sustentable de la actividad agropecuaria, con la finalidad de mejorarla; considerando que el objetivo ideal de toda actividad, pero en especial la

agropecuaria, es producir más y mejor a menores costos y lograr a la vez la mayor eficiencia posible en sus sistemas de producción.

Por tal motivo, es necesario plantearnos cuáles son los beneficios económicos, ambientales y sanitarios que se dan a partir de la implementación de biodigestores

anaerobicos, en una región donde las unidades de producción son principalmente de traspatio, carentes de tecnología y demás recursos para la producción, como lo es la economía campesina tradicional predominante en la región.

5.4.1 SANITARIOS

Como se mencionó anteriormente, debido al elevado aumento de la población, principalmente causada por la inmigración y la cercanía con la Ciudad de México, cada vez se agota el espacio agrícola, trayendo como consecuencia una serie de problemas como son: la escasez de agua, generación de grandes cantidades de basura y la más grave, la desaparición paulatina de la actividad primaria de la economía (agricultura) municipal; así mismo, la generación de basura ocasiona otros males ligados como son: los malos olores, generación de insectos nocivos al hombre, bacterias patógenas, parásitos intestinales, contaminación de mantos freáticos, etc. Sin duda en las comunidades rurales, como consecuencia de estos problemas y sumados a los de las explotaciones pecuarias de traspatio se generan grandes cantidades de desechos orgánicos que ocasionan malestares a los habitantes de estas.

La mayoría de las familias rurales tienen su depósito de basura muy cerca de la casa habitación, donde se encuentra también su unidad de producción, estando en constante riesgo de tener problemas de salud. Considerando que su actividad pecuaria se orienta hacia la producción de leche y carne en un sistema estabulado y semiestabulado, lo cual aumenta el número de desechos.

Por tal motivo, mediante el uso de un biodigestor anaerobico por unidad de producción, se logran aprovechar los desechos orgánicos, transformándolos en insumos útiles para la actividad agrícola. De tal manera que para las comunidades del Municipio de Chalco, esta tecnología puede ser de mucha utilidad ya que se evitarían y/o controlarían las enfermedades, infecciones y malos olores que son generados diariamente con los desechos, mejorando a la vez las condiciones de producción y fomentando la actividad agropecuario del municipio.

En resumen, los beneficios sanitarios de la biodigestión anaerobia son: la descontaminación por desechos orgánicos, no permite la proliferación de insectos nocivos como moscas, mosquitos, gusanos, bacterias, parásitos; y a la vez se evitarían los malos olores que son tan molestos, el estiércol generado por el ganado (vacas, cerdos, caballos, pollos, etc.) sería reutilizable, convertido en fertilizantes, alimento para el ganado; teniendo así un mejor aprovechamiento de este y ya no siendo un estorbo para el productor, además de que ayudaría al mejoramiento de sus suelos.

Pero también la digestión anaerobica trae consigo otros beneficios a parte de los sanitarios como a continuación mencionamos.

5.4.2 AMBIENTALES

Por lo que se refiere al medio ambiente, la digestión anaerobia también puede traer grandes beneficios, debido a que en las comunidades rurales es muy común que las personas no tengan el menor cuidado por este.

Los recursos naturales con los que cuentan las comunidades del Municipio de Chalco (así como las de todo el país), son importantes y necesarios para ellos, dado que son estos, la principal fuente de trabajo para sus habitantes, por tal motivo es necesario

tener conciencia de su importancia y aprender a aprovecharlos y no a “explotarlos”, mejorando las formas de aprovechamiento, logrando a la vez un desarrollo sustentable que permita el equilibrio entre las relaciones sociales de producción y el medio.

Bajo este contexto, si consideramos que sus principales recursos son el suelo, el agua (localizada principalmente en mantos freáticos), la vegetación y algunas especies de fauna, estos son afectados severamente por la falta de información a cerca de su cuidado, por lo tanto es necesario contar con innovaciones, las cuales nos permitan mejorar las condiciones de estos recursos.

Tomando como referencia esto, podemos decir que la digestión anaerobica puede contribuir a aligerar este problema, ya que sus beneficios ambientales se traducirían en mejoras dado que, al tratar los desechos pecuarios, los productos obtenidos mejorarían las condiciones del suelo, además de ser aprovechados de manera óptima por los cultivos, reducirían el nivel de contaminación al no ser amontonados en un lugar, debido a que al ocurrir esto no sólo se contamina el aire por malos olores, sino también los mantos freáticos, ya que al llegar la época de lluvias, estas podrían disolver el estiércol ocurriendo filtraciones hacia el subsuelo. Es por ello que la innovación en la agricultura ha de aumentar la productividad, al tiempo que protege el ambiente y apoya el desarrollo rural; siendo así que el biodigestor cumple estas disposiciones, ya que al implementarlo, se puede lograr el equilibrio entre sociedad y medio ambiente, debido a que los desechos agropecuarios que originan focos de infección son tratados adecuadamente, eliminando la contaminación, recuperando recursos desechados ó subutilizados y transformándolos en fuentes alternas de energía, como lo es el biogas.

5.4.3 ECONÓMICOS

De la misma manera, los beneficios económicos traducidos en ahorro de energía, que podría representar el implementar un biodigestor, son importantes ya que al tratar los desechos pecuarios se obtienen otros rendimientos por concepto del ahorro en fertilizantes, reduciendo los costos de producción de los productores, al mismo tiempo se ahorra en forrajes un porcentaje, ya que los sólidos, son buen complemento alimenticio para el ganado, dado que son de muy buena calidad.

Sin embargo debemos aclarar que la inversión inicial es prácticamente elevada, es por ello que para mejores posibilidades para la implementación de esta tecnología, sería bueno la organización de los propios productores, claro que como toda inversión, esta se recuperará poco a poco, debido a los beneficios de la producción de efluentes producto de la digestión anaerobica.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

⇒ Como resultado de esta investigación, podemos concluir que, como base para poner en práctica la implementación de biodigestores en una determinada región (siendo el caso el Municipio de Chalco), es necesario realizar estrategias basadas en tendencias novedosas, en donde se promueva una salida confiable a la economía campesina, mediante un equilibrio en sus formas de producción y su medio natural que les rodea, para ello debemos considerar la sabia combinación de lo tradicional (prácticas cotidianas de producción), y lo “moderno”, que incluye la implementación de innovaciones y dentro de estas, los biodigestores ofrecen una esperanza para lograr la integración de sistemas de producción agropecuarios, que nos permitan tener un desarrollo sostenido basado en el incremento de la calidad de vida de las comunidades rurales y en una cultura ecológica.

⇒ El uso de los desechos orgánicos en nuestro país no es el adecuado, es decir, que se emplean o se aprovechan de manera deficiente y a la vez, se generan grandes cantidades. Utilizando el biodigestor se aprovecharían mejor, combirtiéndolos en combustible gaseoso (gas metano) y fertilizantes orgánicos para la agricultura.

⇒ Los sólidos resultantes, contienen elementos nutritivos de alta calidad, los cuales pueden ser aprovechados por el ganado, dando muy buenos resultados en el tiempo de engorda, así como para la piscicultura y esto resultaría en un gran ahorro para los productores por concepto de gastos en alimentación.

La agricultura se puede ver beneficiada, debido al uso correcto de los fertilizantes, producto de la biodigestión, ya que estos son de alta calidad, siendo mejor

aprovechados por los cultivos, mejorando la productividad y calidad de los suelos, además del importante ahorro en los gastos por concepto del uso de fertilizantes químicos.

- ⇒ El digester que se decidió utilizar, es el tipo Xochicalli (dshX), el cual cuenta con mayores ventajas para su funcionamiento, por la adecuada utilización redituable de los desechos orgánicos, permitiendo impulsar un desarrollo sostenible, mejorando las condiciones de vida para generaciones futuras y el ahorro de recursos para la economía campesina tradicional.
- ⇒ El proceso de digestión anaeróbica, no es conocido por los agricultores del Municipio de Chalco por ello, se pretende con este trabajo darle impulso, a fin de que a corto o mediano plazo, sea una opción viable para sus necesidades.
- ⇒ Para implementar un biodigestor es necesario y apropiado que los productores que les interesa esta tecnología se organicen a fin de lograr la disminución de la inversión, además de ser importante dado que puede dar pie para nuevos proyectos.
- ⇒ Esta tecnología es apropiada para las comunidades rurales ya que su construcción no es muy complicada y en estas se genera una gran cantidad de desechos orgánicos que no son utilizados adecuadamente, pudiendo aprovecharlos en beneficios propios de los productores, así como de sus hogares contribuyendo a mejorar su medio natural que les rodea.

RECOMENDACIONES.

- ⇒ Es necesario la promoción de las técnicas de producción y utilización del biogas a través de conferencias y reuniones; concientizando a la sociedad, de que el uso racional de los desechos orgánicos, es una fuente de energía, que favorece el equilibrio ecológico y que además constituye elementos necesarios para los procesos de obtención de alimentos.
- ⇒ Promover la aceptación dentro de instituciones públicas, privadas o sociales, mediante proyectos de desarrollo y producción de biogas y biofertilizante; con la finalidad de aportar soluciones en favor de los altos costos en los energéticos para las comunidades rurales (gas, fertilizantes, etc.).
- ⇒ Es recomendable promover la formulación de planes y programas a nivel municipal que incluyan la necesidad en el tratamiento y aprovechamiento de sus recursos renovables (desechos orgánicos), con el fin de lograr la promoción, aceptación y posterior utilización de biodigestores anaerobios en pequeña o gran escala.
- ⇒ Incluir a la vez la asistencia técnica que permita solucionar las principales necesidades en cuanto a la utilización adecuada de los productos y seguridad del biodigestor, así como problemas en su funcionamiento.
- ⇒ La organización es importante no sólo para la implementación de esta tecnología, sino para todas las actividades agropecuarias, más aún en estos momentos de crisis que vive el campo mexicano, es por ello que se recomienda tomar en consideración a ésta como una opción viable para el desarrollo agropecuario nacional.

⇒ Incluir en los programas de asistencia agropecuaria ésta tecnología a fin de formar una cultura ecológica en cuanto al aprovechamiento de recursos considerados como desechos en donde los productores se vean beneficiados de tal manera que ellos mismos sean los precursores de su propio desarrollo.

7 BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, M. del C. y C. Olgín; *Producción y uso agroacuícolas de fertilizantes orgánicos obtenidos a partir de malezas acuáticas y terrestres procesadas anaerobicamente; y resúmenes, VIII Seminario Científico y Talleres sobre Biofertilización en los Trópicos.*

ARENS P. L. (1983), Algunos datos sobre producción y utilización de biogas. Boletín de suelos de la FAO #51, Roma.

ARIAS Chávez, Jesús; (1978), *Ecología y desarrollo, algunos datos para reorientar criterios; UACH. México.*

ARIAS Osorio, Margarita del Consuelo y Arenas Becerril, David; (1996), *Uso del efluente de digestor de estiércol bovino como agua de bebida en pollos de engorda en Chapingo. Tesis UACH. México.*

BAQUEDANO Muñoz, Manuel, et, al (1979), *Los Digestores: energía y fertilizante para el desarrollo rural, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, México.*

BELTRAN López, José y Armendáriz Franco, Juan (1996), *Utilización de líquido efluente de digestor anaerobio (LEDA), en la alimentación del conejo de engorda en Chapingo. Tesis UACH. México.*

CARABIAS L, Julia (1994), *El Desarrollo Sustentable, única opción para la conservación en agroecología y desarrollo sustentable; Segundo Seminario Internacional de Agroecología. UACH. México.*

CASCO Flores, Andrés (1999), Cadenas agroalimentarias y políticas de fomento a la competitividad, en el mercado de valores, marzo/99. Revista de Economía, ed. Nacional Financiera. México.

CASTAÑEDA Yolanda, Massieu Yolanda, Alfie Miriam. (1994). (El desarrollo sustentable: ¿Una opción para mejorar la calidad de vida de los campesinos?. El acceso a los recursos naturales y el desarrollo sustentable. México.

CHARGOY, Z. C. (1989), El uso agronómico de líquidos efluentes de los digestores anaerobicos: Una revisión; Primer ciclo de conferencias sobre microbiología pecuaria. DIES Zootecnia UACH. México.

CRUZ, Medrano. Sergio (1986), Abonos orgánicos; UACH. México.

FAO. (1983), El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Boletín de suelos de la FAO.

FAO. (1983), El biogas, producción y utilización. Organización de las Naciones Unidas para Alimentación; Serie mejores cultivos.

FAO. (1979), Plantas de biogas: China Popular. Boletín de suelos de la FAO.

FIGUEROA B. (1983), Experiencia con el uso de los residuos orgánicos en la agricultura de México, Boletín de suelos de la FAO #51, Roma.

GALVÁN Quiroga, Rubén Alejandro (1987), Elaboración y evaluación de fertilizantes organo-minerales a partir de la fermentación anaerobica de estiércol vacuno, Tesis UACH. México.

GÓMEZ, J. y Viniegra, G. (1979), Producción de hortalizas con estiércol digerido anaerobicamente. IX Reunión (AICA) Asociación Latinoamericana de Ciencias Agrícolas. Acapulco, México.

GRUNDEY, Kevin (1982), Tratamiento de residuos agrícolas y ganaderos;.

JORGE, Octavio y Ordeñana Lampallas (1994), Producción de jitomate (*Lycopersicum Esculentum Mill*), en hidroponía orgánica bajo invernadero: usando efluentes líquidos de digestor anaerobio como solución nutritiva en tres substratos, Tesis, UACH. México.

LÓPEZ R, S. (1995), Efluente líquido del biodigestor Xochicalli, como agua de bebida para cerdos en crecimiento en Chapingo. Tesis, UACH. México

MACKINLAY, Horacio. y BOEGE, Eckart (1996), La Sociedad Rural Mexicana Frente al Nuevo Milenio, vol. III "El Acceso a los Recursos Naturales y el Desarrollo Sustentable". ed. UAM Azc., UNAM, INAH y Plaza y Valdes S.A. de C.V. México.

MANDUJANO A, M. (1981), Biogas: energía Y fertilizante a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de tecnología. Instituto de Investigaciones Eléctricas. División de Fuentes no Convencionales de Energía, Cuernavaca. Mor. México.

MARTÍNEZ R, A. (1994), Aplicación de efluente de un digestor anaerobio sobre parámetros de rendimiento en variedades de trigo (*Triticum Aestivum L.*) tolerantes a sequía, en Sto. Tomás, Zempoala, Hgo. Tesis. UACH. México.

MARTÍNEZ, C. (1994), Montaje de una planta piloto para la producción de gas combustible por fermentación anaerobica del estiércol de res; OLADE; Boletín energético (Ecuador).

MONROY H, Oscar y Viniegra G, Gustavo. (1981), Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos, ed. AGT EDITOR S:A, México.

MONTALVO Villalobos, Leticia. (1996), Biodigestor portátil de alto rendimiento. (Proyecto de Investigación).Tesis.

OLADE. (1980), documentos OLADE.(Organización Latinoamericana de Energía) Segunda edición # 11. Estrategias y Tecnologías disponibles para implementar programas rurales de biogas en América Latina.

OLADE. (1981), Biogas, energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Serie de publicaciones especiales, #6, Cuernavaca, Morelos, México.

OLADE. (1981), Manual de biogas, primer curso Latinoamericano de biogas. Secretaría de Minería, Hidrocarburos y Energía Nuclear, Guatemala, C.A.

RAMÍREZ López, Heladio. (1999), Políticas Públicas para el Desarrollo Rural. En el Mercado de Valores, Marzo/99. Revista de economía, ed. Nacional Financiera. México.

SERRANO V, J. (1993), Utilización de un biofertilizante en el cultivo de cebolla (*Allium Cepa L.*), en Chapingo. Tesis UACH. México.

TOLEDO Manzur, C. (1992), Polarización económica y desarrollo sustentable, en problemas del desarrollo num. 91. Revista Latinoamericana de Economía, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México.

WERNER E. (1983), Producción de energía utilizando desperdicios agrícolas. Boletín de suelos de la FAO #51, Roma.

YOUNG, Marco. (1986), *Digestores anaerobios criterios de selección, diseño y construcción*, ed. ORTIZ, México.

CÉDULA DEL PRODUCTOR

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Entidad _____

Nombre del Productor _____

Municipio _____

Trabajo _____

1. Cuenta usted con cría y/o explotación de animales?

CANTIDAD

Tiene reses (Ganado Bovino)..... _____

Tiene cerdos (Ganado Porcino)..... _____

Tiene caballos (Ganado Equino)..... _____

Tiene aves de corral..... _____

Tiene conejos (Ganado Cúnicola)..... _____

2. Qué otra cría y/o explotación de animales tiene?

NOMBRE

CANTIDAD

3. Con el estiércol generado que destino le da?

- a) Lo amontona en alguna parte especial.
- b) Lo vierte en los campos de cultivo
- c) Lo vende
- d) Lo vierte al drenaje

Si la respuesta en "a" pase a la pregunta 6

4. Qué destino tienen los desechos orgánicos domésticos que su familia genera?

- a) Al drenaje
- b) A la calle
- c) A la fosa séptica
- d) Los aprovecha

Si la respuesta es "d" pase a la siguiente pregunta, si no pase a la pregunta 6

5. Cómo y en qué los aprovecha?

6. Es molesto para sus vecinos el acumular estiércol de sus animales en un lugar cercano a sus viviendas?

7. Qué otro tipo de desecho orgánico genera?

NOMBRE	CANTIDAD
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

8. Estaría usted dispuesto a adoptar algún método que permita tener un mejor aprovechamiento de los desechos orgánicos que se generan a partir de la cría y/o explotación de sus animales?

RESPONSABLE DEL LEVANTAMIENTO