



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA SANITARIA

USOS DE EFLUENTE SEMILÍQUIDO DE UN DIGESTOR PARA CULTIVO DE VEGETALES Y LEGUMINOSAS  
EN CIUDAD UNIVERSITARIA

TESINA  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA

PRESENTA  
JOEL MAGAÑA GARCÍA

TUTOR  
DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA

MÉXICO D.F.

2013



## JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: DR. OSCAR GONZÁLEZ BARCELÓ  
VOCAL: DRA.ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ  
SECRETARIO: M. EN I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ  
1er SUPLENTE: M. EN C. MARÍA EUGENIA DE LA PEÑA RAMOS  
2do SUPLENTE: M. EN I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE

### SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

El tema forma parte de la investigación realizada con recursos del proyecto PAPIME 100810.

### ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González

### SUSTENTANTE:

Ing. Joel Magaña García

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
RESUMEN.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	VII
OBJETIVO.....	VII
GLOSARIO.....	VIII
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES .....	1
1.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO .....	1
1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	3
1.3 RELLENOS SANITARIOS EN MÉXICO .....	4
1.4 DESECHOS DE RESTAURANTES .....	6
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE CASO.....	8
2.1 DESECHOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA .....	8
CAPÍTULO 3 FUNDAMENTACIÓN.....	13
3.1 DIGESTOR.....	13
3.2 TIPOS DE DIGESTORES .....	13
3.3 PROCESO DE DEGRADACIÓN ANAEROBIA .....	14
3.4 PARÁMETROS DE CONTROL EN LOS DIGESTORES .....	15
3.5 ESTUDIOS DE TRATAMIENTO DE DESECHOS DE RESTAURANTES EN DIGESTORES .....	16
3.6 PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN .....	17
3.6.1 BIOGÁS.....	18
3.6.2 MEJORADOR DE SUELOS .....	20
3.7 USO DEL EFLUENTE SEMILÍQUIDO EN DIGESTORES .....	21
3.7.1 CULTIVO DE LEGUMINOSAS Y VEGETALES .....	23
3.7.2 USO EN CAMPOS DE CULTIVO .....	23
3.7.3 OTROS USOS .....	25
CAPÍTULO 4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
4.1 PLANTA DE BIOGÁS EN RESTAURANTE CIBARIUM .....	27
4.2 OPERACIONES UNITARIAS DE LA PLANTA DE DIGESTIÓN .....	29
4.2.1 DIGESTOR.....	31

4.2.2 DISPOSICIÓN DEL BIOGÁS.....	32
4.2.3 DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE.....	33
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
5.1 RESTAURANTE EL CIBARIUM EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	34
5.2 ESTADÍSTICAS DEL RESTAURANTE .....	34
5.3 IMPLEMENTACIÓN DE HUERTA ORGÁNICA .....	36
5.4 RESUMEN DE APLICACIÓN Y USO DEL EFLUENTE.....	48
5.5 BENEFICIOS SOCIALES AMBIENTALES Y ECONÓMICOS A LA COMUNIDAD DE CIUDAD UNIVERSITARIA .....	48
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>50</b>
CONCLUSIONES.....	50
ANEXO : TABLAS PARA EL CULTIVO DE HORTALIZAS ORGÁNICAS .....	51
REFERENCIAS .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1	Subproductos potencialmente reciclables .....	2
Tabla 1. 2	Clasificación de los residuos sólidos municipales .....	3
Tabla 2. 1	Resumen de composición y número de contenedores.....	9
Tabla 2. 2	Generación y proyección de residuos sólidos en el casco central C.U .....	12
Tabla 3. 1	Composición química del biogás .....	18
Tabla 3. 2	Volumen producido de biogás por tipo de residuo orgánico .....	19
Tabla 3. 3	Composición química del estiércol procesado a diferentes técnicas.....	21
Tabla 3. 4	Comparación entre fertilizantes químicos y de lodo digerido .....	22
Tabla 3. 5	Límites máximos permisibles para metales pesados en desechos biológicos .....	24
Tabla 3. 6	Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y desechos biológicos.....	24
Tabla 3. 7	Aprovechamiento de desechos biológicos .....	25
Tabla 5. 1	Tipos y proporción de los RSU generados con mayor frecuencia en la cafetería Cibarium .....	35
Tabla 5. 2	Resultados de la caracterización física de los residuos generados en la cafetería Cibarium.....	35
Tabla 5. 3	Producción diaria promedio máxima y mínima de ROU generados en restaurantes de CU .....	35
Tabla A. 1	Plantas compatibles e incompatibles .....	51
Tabla A. 2	Distancias ideales de algunas hortalizas .....	52
Tabla A. 3	Distancias ideales de leguminosas, cereales y oleaginosas .....	53
Tabla A. 4	Familias para la asociación y rotación de cultivos.....	53
Tabla A. 5	Temperaturas adecuadas del suelo para la germinación de semillas de algunas hortalizas .....	54
Tabla A. 6	Rangos de temperatura óptimos para el crecimiento de algunos cultivos) .....	55
Tabla A. 7	Desventajas del uso de semillas híbridas vs ventajas del uso de semillas de polinización abierta...55	
Tabla A. 8	Insectos dañinos y plantas útiles para su control.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1	Porcentaje de generación por dependencia en casco central CU.....	8
Figura 2. 2	Generación en (m <sup>3</sup> /día) de residuos sólidos urbanos en Ciudad Universitaria.....	10
Figura 2. 3	Porcentajes promedio semanales de generación de subproductos en Ciudad Universitaria .....	10
Figura 3. 1	Etapas de la degradación bacteriana	15
Figura 4. 1	Isométrico del digestor instalado en el restaurante Cibarium .....	27
Figura 4. 2	Diagrama de flujo del proceso de transformación de los residuos sólidos en biogás y efluente .....	28
Figura 4. 3	Vista en planta de la instalación del digestor.....	31
Figura 4. 4	Reactor acidogénico de 1000 L.....	31
Figura 4. 5	Sistema de tuberías de los reactores anaerobios .....	32
Figura 4. 6	Bolsas de almacenamiento del biogás .....	32
Figura 4. 7	Digestor de 5000 L.....	33
Figura 4. 8	Espesadores de lodos.....	33
Figura 5. 1	Restaurante Cibarium .....	34
Figura 5. 2	Ubicación de huerta orgánica a un costado del restaurante.....	37

## RESUMEN

En ciudad universitaria, primordialmente la zona donde se ubican las facultades, se cuenta con 11 establecimientos (restaurantes y cafeterías), que prestan el servicio de comida a la población del campus. Estos establecimientos generan una cantidad considerable de residuos orgánicos y es por tal motivo que este trabajo está enfocado en su reutilización, los cuales estaban destinados a terminar confinados en rellenos sanitarios.

Por tal motivo, se implementó un proyecto en el restaurante Cibarium, el cual consiste en la construcción y puesta en marcha de un reactor anaerobio, el cual aprovechará los residuos orgánicos generados en dicho restaurante y se obtendrá dos productos derivados de la degradación anaerobia.

Biogás: se contempla utilizarlo como energético en las parrillas del restaurante, con el cual se ahorrará dinero y una disminución de volumen de gas LP, contribuyendo de manera directa a una reducción de las emisiones generadas de CO<sub>2</sub>

Lodos digeridos: este producto tiene como objetivo fundamental ser el fertilizante debido a sus propiedades físicas y químicas, le permiten ser un excelente abono orgánico, con los lodos se pretende establecer una huerta orgánica para cultivar vegetales y leguminosas, y ser aprovechadas para el consumo y elaboración de alimentos.

El establecimiento de una huerta orgánica provee productos a un costo menor que el precio del mercado, lo cual permitirá ahorro en los gastos del restaurante. La producción de hortalizas orgánicas presenta ventajas como: producción continua durante todo el año, de alta calidad, higiénica (sin uso de fertilizantes tóxicos u aguas negras), sin contaminación (con insecticidas o herbicidas), baratos y producidas con un mínimo de esfuerzo.

Este estudio proporcionara un ejemplo de lo que está ocurriendo en el mundo en el campo del aprovechamiento de los residuos sólidos, con un enfoque comunitario, tendiente a la creación de fuentes de empleo e ingresos, de alimentos y de energía, así como a la disminución de la liberación de gases con efecto de invernadero provenientes de la descomposición de los residuos orgánicos. Aunado a ello, se busca impulsar que se identifiquen las variadas formas de aprovechamiento de los residuos orgánicos a las que se puede recurrir para convertir a éstos en un aliado para lograr beneficios ambientales, sociales y económicos.



## **INTRODUCCIÓN**

Las sociedades agrarias, desde sus inicios, han usado los desperdicios tanto de hombres como de animales para fertilizar las tierras y sembrar sus semillas, las que han sido enriquecidas dado que los materiales que son descargados en las redes de alcantarillado de aguas residuales no son desperdicios, sino que son de gran valor y un antiguo medio para enriquecer el suelo. La aplicación de los "lodos" en las tierras agrícolas es de origen tan antiguo como la propia agricultura. Numerosos son los ejemplos de su utilización en Japón, China, India, Europa y los Estados Unidos hasta la década de los 40, en la que aparecen los fertilizantes químicos. Luego de un período de más de 50 años en que se dejan de utilizar, en la actualidad la cantidad de lodos aplicados en la agricultura está aumentando considerablemente. Las modernas tecnologías empleadas actualmente en el tratamiento de aguas residuales posibilitan que esto suceda. Las plantas no son sólo un sistema de limpieza y depuración de las aguas si no que, además, mejoran factores que producen seguridad para la reutilización de dichos lodos, que en estos últimos años han pasado a denominarse biosólidos.

El reciclaje de los sólidos de aguas residuales, para usos adecuados, está ganando aceptación mundial y es fomentado tanto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), como también por distintos organismos e instituciones de los EE.UU de los principales países desarrollados. La materia orgánica presente en el suelo tiene efectos múltiples sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del mismo. Cuando estos efectos se combinan sobre dichas propiedades, como resultado se obtiene un efecto integrado en el rendimiento de los cultivos. La materia orgánica para abastecer al suelo proviene de diversas fuentes vegetales o animales lo que influye en su calidad; aunque en todo caso las técnicas para su obtención y adición al suelo deben ser relativamente sencillas, además de económicas para que la rentabilidad de su utilización sea aceptable. Una de estas técnicas es la degradación anaerobia de los estiércoles animales y/o residuos vegetales en la cual además de producirse gas combustible (biogás) se produce un residuo conocido como efluente. El efluente se caracteriza por ser rico en materia orgánica y nutrientes. Dichas características lo convierten en un material orgánico ideal para aplicarse en los suelos (Suquilanda, 1996).

El presente trabajo está enfocado en la utilización y aplicación del efluente, ya que este producto debido a sus propiedades físicas y químicas, es factible utilizarlo como fertilizante y mejorador de suelos, con lo cual nos permite generar un cultivo propio de vegetales y leguminosas. Por otro lado está la obtención de biogás, el cual será destinado al consumo de la cocina del restaurante. Cabe destacar que todos estos beneficios son debidos a la implementación de la tecnología de los reactores anaerobios degradan de desechos orgánicos, los cuales por lo general son destinados al confinamiento en rellenos sanitarios.

## **OBJETIVO**

Verificar la factibilidad de los usos del efluente semilíquido de un digestor en el cultivo de vegetales y leguminosas, partiendo de los desechos generados en un restaurante de Ciudad Universitaria

## GLOSARIO

Ca:	Calcio
CH <sub>4</sub> :	Metano
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carbonato
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de carbono
CU:	Ciudad Universitaria
DBO:	Demanda bioquímica de Oxígeno
DGOC:	Dirección General de Obras y Conservación
DQO:	Demanda química de Oxígeno
EE.UU:	Estados Unidos de América
EPA:	Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos
GTZ:	Agencia de cooperación técnica alemana
H <sub>2</sub> :	Hidrógeno
H <sub>2</sub> S:	Acido sulfhídrico
K:	Potasio
LDL:	Lodos Digerido Líquidos
LDS:	Lodos Digerido sólidos
N:	Nitrógeno
NOM:	Norma oficial mexicana
P:	fósforo
pH:	Potencial de Hidrógeno
RSU:	Residuos sólidos urbanos
SEGEM:	Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México
SEMARNAT:	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
ZMVM:	Zona Metropolitana del Valle de México

## CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

### 1.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

La ley general para la prevención y gestión integral de los residuos, en su título primero (disposiciones generales), capítulo 1, define a los residuos sólidos urbanos como se menciona a continuación.

XXIX. Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (SEMARNAT, 2003).

XXXII Residuos sólidos urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques. También se comprende a los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole, (SEMARNAT, 2003).

De acuerdo con estadísticas emitidas por la (SEMARNAT, 2010), la cantidad de residuos sólidos urbanos del tipo orgánico (RUO) generados en México es aproximadamente de 19,707.30 miles de toneladas anuales. Lo cual representa el 52.42% del total de los residuos sólidos generados. En contraste con lo anterior se tiene que en México, se recicla sólo el 15% de los residuos sólidos, a pesar de que se tiene un potencial de 47%. En México se estima que el 87% de  $\text{CH}_4$  emitido a la atmósfera es generado por residuos sólidos, pero lo alarmante de esta situación es el hecho que el gas metano ( $\text{CH}_4$ ), contribuye 21 veces más al efecto invernadero que el bióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , por lo cual es importante capturarlo y transformarlo en  $\text{CO}_2$ .

Hoy en día existen diferentes alternativas para el tratamiento de los RUO, tales como, tratamiento mecánico, pirólisis, gasificación, combustión, fermentación y digestión. Todas las alternativas contribuyen a la mitigación del efecto invernadero, ya que inhiben la emisión de  $\text{CH}_4$  a la atmósfera y además contribuyen en la producción de energía calorífica y eléctrica; teniendo como consecuencia la inmediata, sustitución de los combustibles fósiles.

Los procesos de tratamiento mecánico, gasificación y pirólisis, tienen como requerimiento esencial que la materia presente una humedad mínima, lo cual es un inconveniente, ya que los RUO de las cafeterías de CU contienen un 30% de humedad aproximadamente. Lo cual hace que estos procesos no sean lo más adecuados para dichos residuos, a menos de que antes se les someta a tratamiento de secado (SEGEM/GTZ, 2000).

En cuanto a la fermentación, se tiene que es un proceso adecuado para el tratamiento de los RUO, sin embargo, conlleva subprocesos complicados y no convenientes para llevar a cabo cerca del lugar de la producción de los RUO, como son las cafeterías de Ciudad Universitaria.

Por último la digestión de los RUO, es el proceso que mejor se adecua a la necesidades de las cafeterías de CU ya que no implica subprocesos complicados y además, el combustible que produce (CH<sub>4</sub>), puede ser utilizado por las cocinas de las mismas.

Diariamente se generan entre 800 y 1,200 gramos de RSU por persona en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Esto corresponde a una generación diaria de RSU estimada en 20,000 toneladas en esta zona. Los costos de recolección y disposición de los RSU se estiman entre 240 y 640 pesos/tonelada en la ZMVM, dependiendo del tamaño de los municipios.

Se estima que existen entre 25 y 30 mil pepenadores en los tiraderos de la ZMVM, para quienes la basura es el principal ingreso económico. Solo se aprovecha entre el 2% y 5% de los del total del peso volumétrico de los RS (SEGEM/GTZ, 2000) En la Tabla 1.1 se enlistan los productos con mayor frecuencia de reciclaje.

*Tabla 1. 1 Subproductos potencialmente reciclables (Sancho y Rosiles, 1999)*

TIPOS	1974-1988 % EN PESO	1991-1998 % EN PESO	1974-1988 % RECICLABLE EN PESO	1991-1998 % RECICLABLE EN PESO
CARTÓN	4.10	4.07	2.87	2.85
HUESO	0.80	0.35	0.40	0.18
LATA	2.52	2.12	1.51	1.27
M.FERROSO	0.76	0.95	0.46	0.57
M. NO FERROSO	0.60	0.76	0.24	0.30
PAPEL	9.63	11.90	4.33	5.38
PLÁSTICO PELÍCULA	3.42	3.92	1.88	2.16
PLÁSTICO RÍGIDO	2.28	2.71	1.25	1.49
RESIDUOS ALIMENTICIOS	34.70	27.56	17.35	13.78
TRAPO	1.94	1.60	1.16	0.96
VIDRIO COLOR	3.44	2.37	2.58	1.78
VIDRIO TRANSPARENTE	4.25	5.08	3.19	3.81
<b>TOTALES</b>	<b>68.44</b>	<b>73.45</b>	<b>7.22</b>	<b>34.53</b>

## 1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En la generación y el manejo de los residuos inciden directamente varios factores. En primer lugar, el volumen arrojado tanto por las industrias y servicios, como por los hogares depende directamente del tamaño, tasa de crecimiento y nivel de ingreso de la población, de los patrones de consumo, del tipo y cantidad de los recursos económicos y tecnológicos con que se cuente para reciclarlos, tratarlos y/o aprovecharlos, así como de las capacidades de gestión institucional y de su nivel de eficiencia. El nivel absoluto de ingreso de la población es tal vez la variable con el mayor poder explicativo sobre el volumen de residuos generados. En la Tabla 1.2 se muestra los tipos y origen de las principales corrientes de residuos.

*Tabla 1. 2 Clasificación de los residuos sólidos municipales (SEGEM/GTZ, 2000)*

FUENTE	ORIGEN ESPECÍFICO	TIPOS DE RESIDUOS Clasificación de residuos comunes por sus propiedades físicas.
Domiciliarios Institucionales	Casas habitación Escuelas, institutos y universidades Museos Iglesias Oficinas de gobierno Bancos Reclusorios	Materiales inertes Vidrio Plástico Metales Lozas y cerámica Tierras Cenizas
Áreas y vías públicas	Calles y avenidas  Carreteras federales o estatales Parques y jardines Zoológicos Playas Áreas arqueológicas Parques nacionales	Materiales fermentables  Residuos alimenticios Residuos de jardinería Hueso Flores (desechos)
Comercial y de servicios	Balnearios Circos Cines Teatros Estadios Hipódromo y galgódromo Parques deportivos Autódromo Velódromos Plazas de toros Frontón Mercados, tianguis y centros de abasto Hoteles y moteles Oficinas Rastras Panteones Restaurantes Tiendas Terminales: Marítimas, terrestres y aéreas	Materiales aprovechables energéticamente Algodón Papel Cartón Textiles naturales Textiles sintéticos Pañales desechables Madera Cuero Hule

### 1.3 RELLENOS SANITARIOS EN MÉXICO

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población. La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado. Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domésticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario (SEGEM/GTZ, 2000).

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez es un sitio de disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno).

El relleno sanitario debe contar con las siguientes medidas de control, que deben mantenerse hasta por 25 años:

- Captación, extracción, tratamiento y monitoreo de biogás
- Captación, tratamiento y monitoreo de lixiviados
- Captación y desvío de aguas pluviales
- Monitoreo de acuíferos
- Monitoreo y seguimiento de los asentamientos humanos adyacentes o cercanos al relleno sanitario

La actividad biológica dentro de un relleno sanitario se presenta en dos etapas relativamente bien definidas:

**Fase aerobia:** Inicialmente, parte del material orgánico presente en las basuras es metabolizado aeróbica (mientras exista disponible oxígeno libre), produciéndose un fuerte aumento en la temperatura. Los productos que caracterizan esta etapa son el dióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos.

**Fase anaerobia:** A medida que el oxígeno disponible se va agotando, los organismos facultativos y anaerobios empiezan a predominar y proceden con la descomposición de la materia orgánica, pero más lentamente que la primera etapa. Los productos que caracterizan esta etapa son el dióxido de carbono, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco, hidrógeno, metano, compuestos sulfurados (responsables del mal olor) y sulfitos de fierro, manganeso e hidrógeno. Existe pre tratamientos al relleno sanitario como alta compactación, mecánico biológico, manual y acelerado. A continuación se discute cada uno de ellos.

El pretratamiento de alta compactación es también conocido como la tecnología del “relleno seco”. Su principal objetivo es acelerar y facilitar el control de los rellenos sanitarios a través de la reducción del volumen de los residuos por su alta compactación. Esta tecnología permite aumentar la vida útil de un relleno sanitario hasta 50%, pero prolongando el tiempo de descomposición de material orgánico ya que su degradación se vuelve mucho más lenta.

El tratamiento mecánico-biológico tiene como objetivo hacer inertes los residuos de manera previa a su disposición en un relleno sanitario, con la finalidad de reducir el riesgo de contaminación del medio ambiente. El sistema realiza un pretratamiento de los RSU en dos fases fundamentales: La mecánica y la biológica. La mecánica se realiza utilizando un tambor móvil o fijo especial para la homogeneización de RSU que los prepara para la fase biológica del sistema.

En la etapa biológica, los residuos homogenizados se conforman en pilas de descomposición aerobia hasta por 9 meses. Lo que permite la minimización y/o eliminación de los elementos nocivos para el medio ambiente en la disposición final del material tratado (biogás, lixiviados, vectores, entre otros).

El tiempo necesario de monitoreo después de la clausura se reduce a máximo 5 años, y la compactación del material pretratado alcanza valores de hasta 1.2 Ton/m<sup>3</sup>. Esta tecnología ha probado su factibilidad en Alemania, Brasil y Tailandia, y se encuentra en fase piloto en el Estado de México (SEGEM/GTZ, 2000).

Esta técnica de relleno sanitario manual se utiliza generalmente para el manejo de los residuos sólidos urbanos en áreas marginadas o con densidades de población bajas (zonas rurales). Su aplicación es permitida según la normatividad actualizada sobre la disposición final para rellenos con un ingreso diario de hasta 10 toneladas. Para su operación se utilizan instrumentos de uso manual.

El relleno sanitario acelerado es muy semejante a la del relleno sanitario tradicional, conlleva como requerimiento obligatorio, la recirculación de lixiviados previamente inoculados con agentes enzimáticos. Lo cual permitirá acelerar el proceso de descomposición en su etapa metanogénica, aumentar el tiempo de retención celular y reducir las necesidades de estabilización de los residuos.

El control de la recirculación de los lixiviados activados biológicamente en esta tecnología, es fundamental, ya que deben de inyectarse a las celdas de basura, en la cantidad y en el tiempo que demande el proceso. Al término de la estabilización de los residuos, es posible abrir o minar las celdas de basura para rescatar el material degradable ya estabilizado mediante un proceso de tamizado y volver a depositar residuos en las celdas minadas (ya vacías). Con lo cual es posible incrementar la vida útil del relleno sanitario, hasta en tres veces su vida útil normal. Esta tecnología, se aplica actualmente en España y en Brasil.

En los rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto, al descomponerse la materia orgánica bajo condiciones anaerobias, se genera biogás, que tiene alto porcentaje de metano. Éste al no ser controlado, aprovechado y/o tratado representa un riesgo (por ejemplo de explosiones) para las poblaciones circunvecinas y al medio ambiente (clima).

Sin embargo, el metano puede ser recuperado y así aprovecharse su poder calórico como carburante en automotores o en calderas y turbinas para generar electricidad, siempre y cuando sea económicamente viable, como es el caso en los rellenos grandes.

## 1.4 DESECHOS DE RESTAURANTES

Los principales residuos sólidos del sector corresponden a:

1. Envases desechables, principalmente de cartón y plástico como vasos, restos de envases y platos, papeles, cajitas, etc.
2. Envases vacíos de materias primas, como bolsas de polietileno, restos de cartones y cajas de cartón, papeles y bidones.
3. Restos de alimentos no consumidos y alimentos sobrantes que se estima que del total de residuos de este sector un 30% corresponde a este tipo de desechos.
4. Restos orgánicos de la preparación de alimentos que se estima poco relevante, no más de un 1% del total de materias primas que ingresan.
5. Restos orgánicos por limpieza de canaletas y rejillas

A nivel internacional se ha establecido que cerca del 30% del total de residuos generados en este sector son restos orgánicos, es decir, restos de comidas. Se estima que del total de alimento que se vende, un 10% no es consumido y queda como residuo.

Para el cálculo del volumen de residuos se ha supuesto que una ración promedio pesa alrededor de 1kg y su composición gruesa sería 80% en peso de alimentos y 20% en peso de envases varios típicamente de plástico y papel/cartón. Los impactos actuales y potenciales generados por el sector restaurantero pueden afectar la calidad del aire, agua, suelo, los ecosistemas y la calidad de vida humana.

El impacto que conlleva un mal manejo de los residuos de aceite es sumamente importante. Si se les descarga a los sistemas de alcantarillado elevan la carga orgánica, aumentando fuertemente los niveles de parámetros contaminantes como aceites y grasas y resto de materia orgánica (medida como demanda química de oxígeno) por sobre los niveles normales que se manejan en las operaciones de lavado de la actividad.

Además pueden provocar obstrucción de las redes de alcantarillado por solidificación de aceites y grasas. Por otra parte, al mezclarse con residuos domiciliarios afectan negativamente la posibilidad de separar y recuperar parte de los materiales (GTZ, 1999).

Para el manejo de residuos en un restaurante se pueden establecer prácticas de segregación colocando una serie de contenedores diferenciados para los distintos tipos de residuos en lugar de un solo contenedor central en el sector de consumo. Así, cuando los usuarios van a dejar su bandeja, de comida, ellos mismos se encargarán de colocar y



segregar, en estos recipientes los restos de comida, los residuos plásticos, y los restos de papel o similares, para luego entregar las bandejas limpias y los cubiertos.

Para un adecuado manejo de los residuos de alimentos, su almacenamiento temporal no debe ser superior a 24 horas, para evitar su descomposición. Si el local segrega los distintos tipos de residuos el volumen de desechos que debe ser manejado de esta manera será menor ya que los residuos de papel y cartón y plásticos pueden almacenarse por períodos mayores (GTZ, 1999).

Para el almacenamiento de los residuos de alimentos se deben considerar contenedores plásticos o metálicos con tapas adecuadas, para evitar la salida de olores y la atracción de vectores y moscas. El recinto de almacenamiento previo al retiro de los residuos deberá estar dimensionado con base en a la frecuencia de retiro y a la cantidad diaria de residuos generados.

A fin de minimizar la cantidad de grasas y restos de alimentos que pueden descargarse junto a los efluentes de lavado se recomienda realizar una primera limpieza en seco, retirando el máximo posible de material sólido y luego proceder al lavado con agua.

Se recomienda utilizar sistemas de lavado con agua a presión ya que ello ayuda a una limpieza con un mínimo uso de agua. El lavado general de los equipos se debe realizar diariamente, al término de la jornada de trabajo a fin de evitar que los residuos que quedan en los mismos puedan comenzar a degradarse (GTZ, 1999).

Se estima que en un establecimiento de comida el 30% de los residuos sólidos son desechos orgánicos que pueden ser aprovechados, ya sea como alimento para animales o como mejorador de suelos, previo proceso de compostaje.

Si se considera además el potencial reciclaje de otros materiales podría ser factible reducir en un 80% los residuos sólidos destinados a rellenos sanitarios (GTZ, 1999).

Entre las acciones que es posible implementar para propiciar prácticas de reciclaje se encuentran:

- Disponer de un servicio para retiro y posterior reuso de los residuos como grasas y aceites.
- Iniciar un programa de reciclaje en el local (separando vidrios, cartones, plásticos, etc.).
- Contactar empresas demandantes de residuos orgánicos, de papel y cartón y plásticos.
- Impulsar un programa de uso de contenedores reciclables con los proveedores de materias primas a fin de minimizar la generación de residuos de envases de estos materiales

## CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE CASO

### 2.1 DESECHOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA

La generación de residuos sólidos se estimó en función de la población que realiza sus actividades en Ciudad Universitaria y la cantidad de residuos sólidos que son recibidos en la estación de transferencia de Coyoacán.

La generación per cápita promedio por universitario es de 0.098 kg/universitario\*día. Adicionalmente se realizaron proyectos piloto para obtener un índice de generación por estudiante y por personal académico y administrativo de la universidad, teniendo como resultado que el índice de generación por estudiante es de 0.04 kilogramo por día y el del personal académico y administrativo de 0.128 Kg/día. Estos resultados son congruentes considerando el tiempo de permanencia de cada uno de ellos y el ingreso per cápita, recursos con los que cuentan para consumir algunos productos dentro de las instalaciones del campus. El total de universitarios que trabajan y estudian en CU es de 153,022

Como se puede observar en la Figura 2.1 dentro de la Zona del Casco Central se genera aproximadamente el 44% del total de la generación de residuos en Ciudad Universitaria, las facultades cuya generación es mayor son Ingeniería, Filosofía y Letras y Derecho.

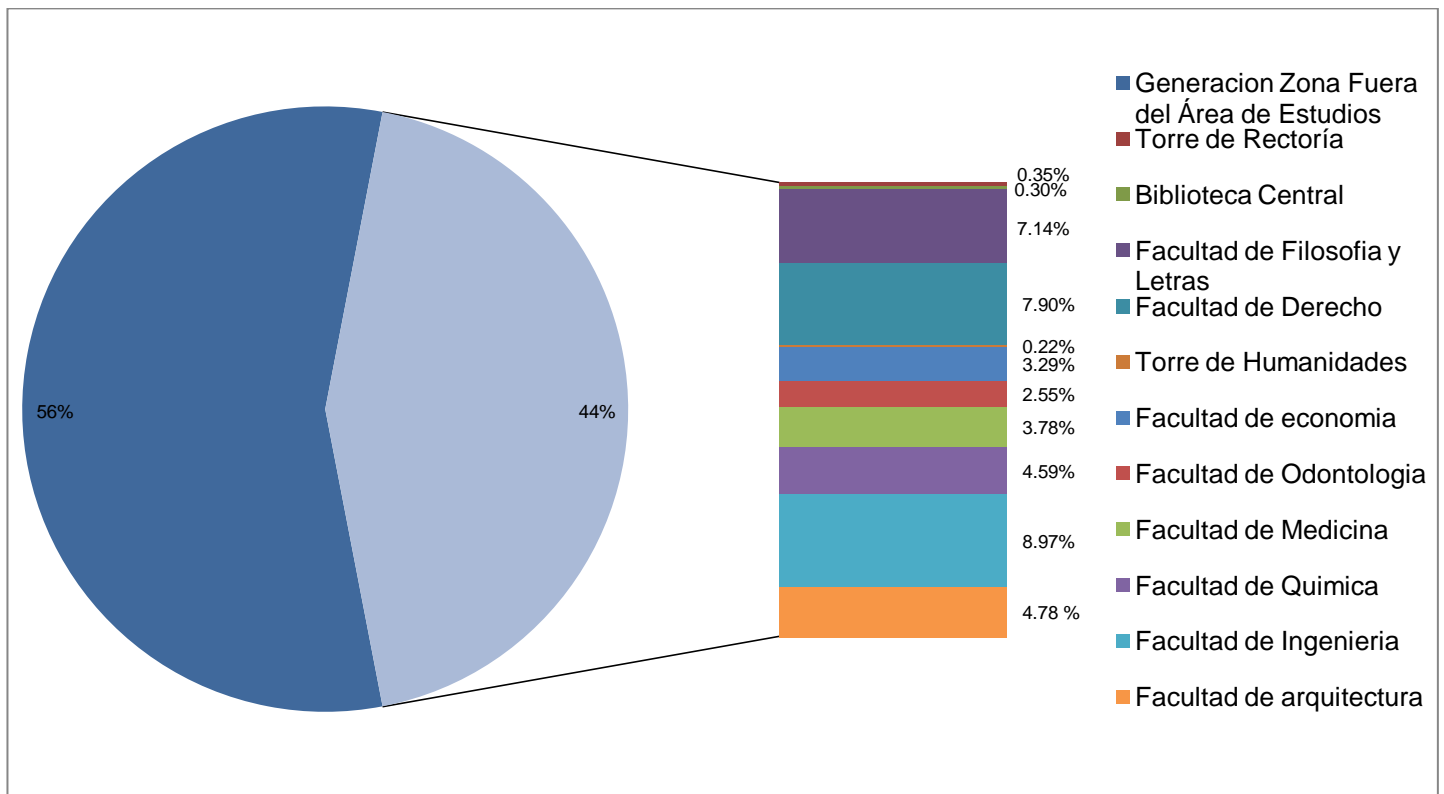


Figura 2. 1 Porcentaje de generación por dependencia en casco central CU (elaboración a partir del estudio diagnóstico del sistema de manejo de RSU, 2010)

En la Tabla 2.1 se muestra el resumen por dependencia muestreada de la población de la entidad, peso volumétrico de residuos sólidos generados, la generación diaria promedio por entidad, el equivalente en metros cúbicos, el número de contenedores que se necesita tener considerando una frecuencia de recolección de dos veces al día y finalmente el porcentaje de contribución de residuos sólidos que cada dependencia genera con respecto al total de residuos transportados al sitio de disposición final.

*Tabla 2. 1 Resumen de composición y número de contenedores (elaboración a partir del estudio diagnostico del sistema de manejo de RSU, 2010)*

Dependencia	Peso volumétrico de los residuos (kg/m <sup>3</sup> )	Población (personas)	índice de generación (kilogramo/universitario*día)	Generación (kg/día)	Generación (m <sup>3</sup> /día)	No. de contenedores	Frecuencia media de recolección (veces/día)	No. de contenedores final	Porcentaje de contribución con respecto de la generación total en CU
Torre de rectoría	62.24	530	0.098	51.95	0.808	1	2	1	0.35%
Biblioteca central	77.80	462	0.098	45.29	0.582	1	2	0	0.30%
Facultad de Filosofía y letras	77.80	10,927	0.098	1,071.12	13.767	17	2	9	7.14%
Facultad de derecho	102.42	12,084	0.098	1,184.54	11.566	14	2	7	7.90%
Torre de humanidades	102.42	332	0.098	32.54	0.317	0	2	0	0.22%
Facultad de economía	96.65	5,040	0.098	494.05	5.111	6	2	3	3.29%
Facultad de odontología	67.95	3,895	0.098	381.81	5.619	7	2	4	2.55%
Facultad de medicina	66.57	5,784	0.098	566.98	8.517	11	2	5	3.78%
Facultad de química	54.40	7,022	0.098	688.33	13.136	16	2	8	4.59%
Facultad de ingeniería	73.42	13,728	0.098	1,354.69	18.329	23	2	11	8.97%
facultad de arquitectura	73.42	7,321	0.098	717.64	9.775	12	2	6	4.78%
peso volumétrico promedio	77.73		Generación total en el casco central de CU	6579.94				Generación total porcentual en el casco central de CU	44%

El volumen de los residuos generados por cada entidad es muy importante pues es de este valor que dependerá el número de contenedores que se piensen instalar y de qué tipo.

En la Figura 2.2 y 2.3, respectivamente, se muestran porcentajes de contribución en generación de residuos por cada una de las entidades pertenecientes a la Casco Central de Ciudad Universitaria.

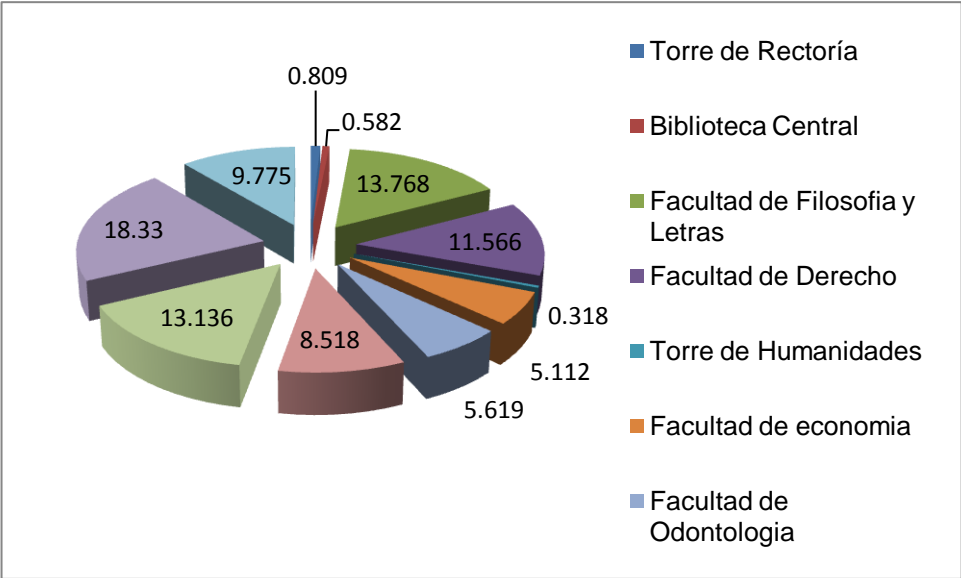


Figura 2. 2 Generación en (m³/día) de residuos sólidos urbanos en Ciudad Universitaria (elaboración a partir del estudio diagnóstico del sistema de manejo de RSU, 2010)

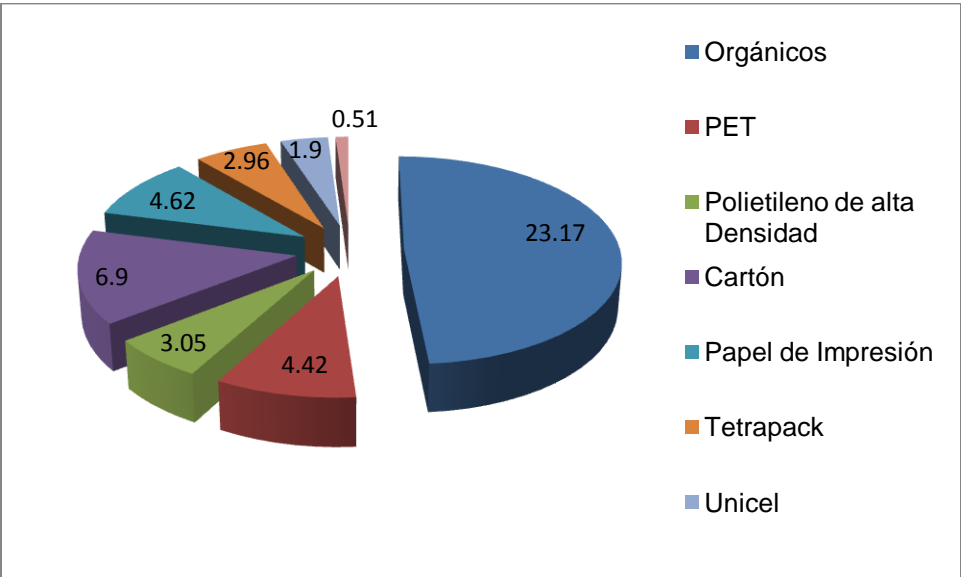


Figura 2. 3 Porcentajes promedio semanales de generación de subproductos en Ciudad Universitaria (elaboración a partir del estudio diagnóstico del sistema de manejo de RSU, 2010)

En CU, el manejo de residuos orgánicos se realiza de la siguiente manera, según el informe (DGOC, 2009):

Sólo se separa en la fracción de materia orgánica de carácter vegetal derivada de las actividades propias del mantenimiento de las 200 ha (aproximadamente) de áreas verdes y jardines que están a cargo de la DGOC.

El resto de la materia orgánica, la derivada de cafeterías no es colectada ni procesada para fines de compostaje. Esto debido a que la actual planta de composta carece de la tecnología adecuada para llevar a cabo este proceso.

La cantidad de RUO separados en CU es de 14.2 ton/d aproximadamente, los cuales están compuestos por residuos de jardinería y cafeterías de CU. Cabe destacar que la cantidad de residuos generados por las cafeterías es tan sólo de 426.29 kg/d lo cual representa el 3% del total de los RUO separados en CU.

Se estima que el costo por recolección de residuos sólidos es de \$128,340 pesos/mes lo cual representa un gasto parcialmente innecesario ya que el 40% son RUO, los cuales podrían aprovecharse mediante degradación anaerobia.

Lo cual significa que pueden someterse a un proceso en el cual se genera  $\text{CH}_4$  utilizable para producir energía calorífica, y de la misma manera se podría evitar la emisión de gases de efecto invernadero y se reduciría la cantidad de residuos.

Para efectos de la recolección de los residuos se divide en 4 áreas principales: Campus Central, áreas deportivas, circuito interior y circuito exterior. De las cuatro zonas la única zona en donde la colecta es manual es el Campus Central. Esto es debido a la gran cantidad de basura inorgánica que es depositada por parte de los concesionarios de las barras de alimentos que se encuentran en la periferia de dicho sitio.

En el resto de las zonas, la colecta es mecánica, esto es por medio de contenedores metálicos de 4 m<sup>3</sup> (aprox.) que son colocados y retirados de manera periódica, el horario para efectuar esta función, es de 7:00 a 16:30 horas.

La materia orgánica de carácter vegetal derivada de las actividades de jardinería se maneja desde hace casi 16 años por parte de la Coordinación de Áreas Verdes y Forestación a través de la planta de compost.

El tipo de manejo que se lleva a cabo es a través del aireado y volteado de pilas estáticas (Windows) en una planta de composta de tipo 3 (de acuerdo a la EPA).

La materia orgánica que aquí se maneja es depositada en 40 contenedores metálicos que se encuentran distribuidos en la Ciudad Universitaria. Debido al carácter propio del trabajo de jardinería estos contenedores no se encuentran fijos y pueden ser reubicados de acuerdo a las necesidades cotidianas del trabajo. En la Tabla 2.2 se muestra la generación de residuos proyectada para el año 2020.

*Tabla 2. 2 Generación y proyección de residuos sólidos en el casco central C.U (elaboración a partir del estudio diagnóstico del sistema de manejo de RSU, 2010)*

<b>GENERACIÓN</b>	POBLACIÓN	2009-2010	PROYECCIÓN AL AÑO 2020	La proyección de población, así como el índice de generación se realizó bajo el método de proyección geométrica, utilizando una tasa de crecimiento del 2%.	
		153,022	184,931		
	ÍNDICE DE GENERACIÓN PROMEDIO	0.098 kg/univ día	0.100 kg/univ cdía		
	En el Casco Central se genera el 43.88% de los residuos de toda CU				
<b>COMPOSICIÓN EN CASCO CENTRAL C.U.</b>	Orgánicos	23.2%	PET	4.4%	Dentro de la clasificación de otros se incluye: zapatos, telas, cuerda, alfombra, fibras, palos, residuos peligrosos como agujas, residuos electrónicos.
	Otros	15.8%	Tetra pack	3.0 %	
	Residuos sanitarios	14.3%	Periódico y revista	1.9%	
	Otros plásticos	11%	Unicel	1.9%	
	Vidrio	7.8%	Material ferroso	1.1%	
	Cartón	6.9%	Pañales	0.5%	
	Papel de impresión	4.6%	Aluminio	0.5%	
	Polietileno de alta densidad	3.1%			

## CAPÍTULO 3 FUNDAMENTACIÓN

### 3.1 DIGESTOR

Un digestor de desechos orgánicos es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a degradar como excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, no se incluyen cítricos ya que acidifican, etcétera. Se depositan en determinada dilución de agua para que a través de la degradación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento como filtros y piedras, de algas, secado, entre otros, a la salida del reactor (CEMAT, 1977).

Alrededor de un tercio de los residuos municipales y una parte importante de los residuos industriales contienen materia orgánica. Gran cantidad de estos residuos se pueden aprovechar en las plantas de digestión, también llamadas plantas de biogás, para la generación de energía renovable. Los digestores, son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable.

El uso de esta tecnología no es nuevo, pero en los últimos años ha cobrado gran interés debido a la actual crisis energética producto del agotamiento de los combustibles fósiles. Además, el aprovechamiento del biogás impulsa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como el metano ( $\text{CH}_4$ ), cuyo potencial de calentamiento global es veintitrés veces mayor que el del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

### 3.2 TIPOS DE DIGESTORES

En forma general se clasifican, según su modo de operación, en los siguientes: De régimen estacionario o de operación por lotes, de régimen semicontinuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo.

1. Los de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida de gas. Poseen la característica que la materia orgánica se mantiene por tiempos prolongados entro de la cámara de biodigestión. En este tipo de sistema se pueden instalar varios biodigestores en serie que se llenan en tiempos diferentes, esto permite que la producción de biogás sea constante (CEMAT, 1977).

2. Los de régimen semicontinuo se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (González, 1986).
3. Los horizontales de desplazamiento también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto.
4. Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas negras; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, éstos generalmente son de tipo industrial (CEMAT, 1977).

### 3.3 PROCESO DE DEGRADACIÓN ANAEROBIA

El biogás contiene un alto porcentaje en metano,  $\text{CH}_4$  (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, bien sólo o mezclado con otro combustible. El proceso controlado de digestión es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento de la porción sólida líquida que resulta del proceso de biodigestión puede ser retirada de la cámara de digestión y ser utilizada como abono por sus excelentes propiedades químicas y bacteriológicas (Álvarez, 2004).

La digestión puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o junta, mediante lo que se da en llamar codigestión (Galván, 1984).

La digestión también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias. Una de las características más importantes de la digestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO) hasta en un 90% (dependiendo de las condiciones de diseño y operación).

La digestión es un proceso biológico en el que la materia en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación (Soube, 1994). En la Figura 3.1 se muestra un diagrama del proceso de degradación anaerobia.



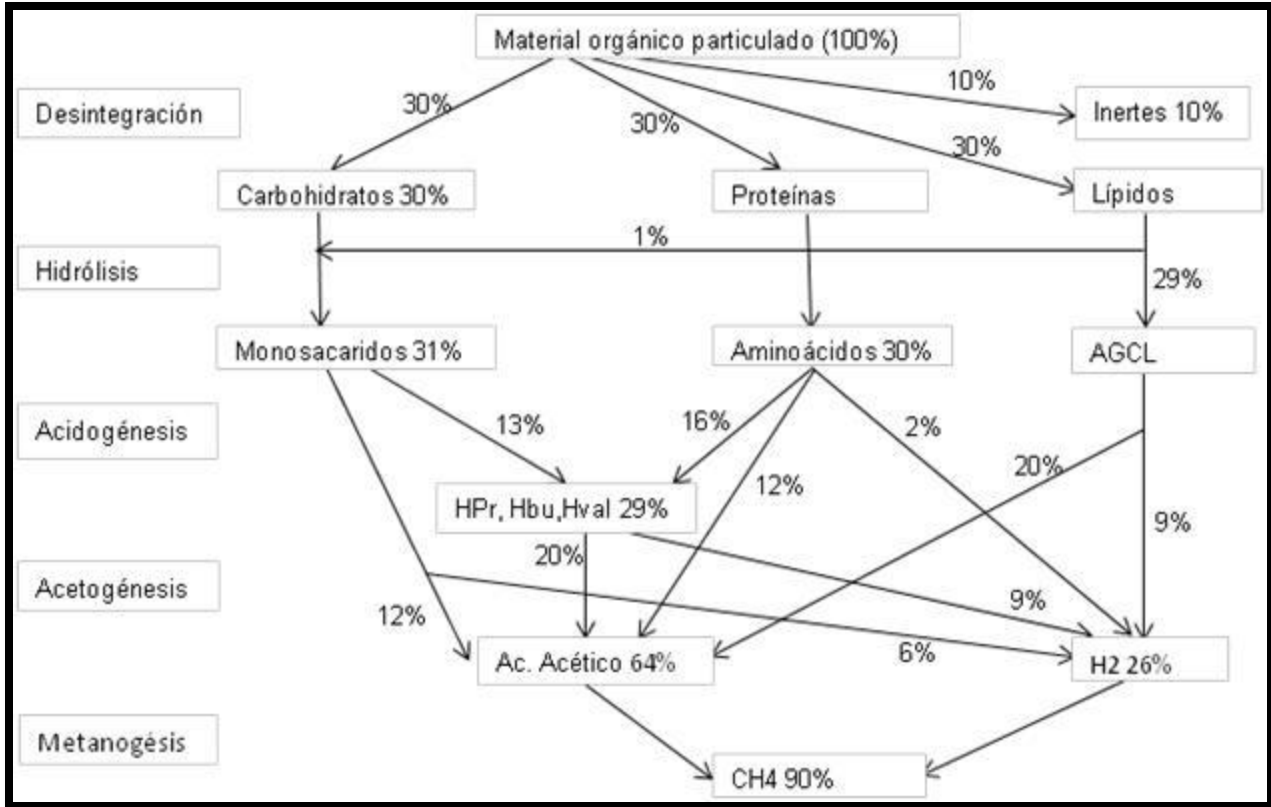


Figura 3. 1 Etapas de la degradación bacteriana (Álvarez, 2004)

### 3.4 PARÁMETROS DE CONTROL EN LOS DIGESTORES

La dinámica del proceso (reflejado como producción de metano) es importante para el diseño y operación de digestores debido a que si la tasa es alta, se puede agregar altas cargas de biomasa lo permite el diseño de reactores más pequeños.

La dinámica del proceso se ha establecido matemáticamente por medio de ecuaciones basadas en el Modelo de Monod, el cual predice la cinemática del crecimiento de las bacterias. Se ha encontrado que la tasa de producción de metano es limitada principalmente por la actividad de las bacterias metanogénicas: Tasas muy altas de alimentación resultan en una disminución de la producción de metano (CEMAT, 1977).

Los principales factores que afectan la dinámica de la producción son: Concentración del influente, temperatura, nutrientes, mezclado, tamaño de las partículas, componentes tóxicos y frecuencia de alimentación. El proceso óptimo se puede lograr a través de la selección de la biomasa que se agrega, el pretratamiento y el desarrollo y optimización del inóculo. Entonces para lograr que un digestor trabaje a su más alta capacidad es posible cuando hay una gran retención de los microorganismos, temperatura termofílica, tamaño de partícula mínimo, alimentación continua, ausencia de componentes tóxicos y sin limitación en los niveles de nutrientes.

Es importante controlar y medir ciertos parámetros en los digestores para determinar la eficiencia en la operación y realizar rectificaciones al proceso. Si no se tiene una medición y control de los parámetros es imposible determinar si un digestor está operando correctamente (Mandujano, 1981).

Los parámetros operativos más importantes que se deben medir y registrar en un digestor-biogás son los siguientes:

- pH, que debe mantenerse cercano a la neutralidad.
- Alcalinidad, para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación. Es recomendable una alcalinidad superior a 1.5 g/l  $\text{CaCO}_3$ .
- Potencial redox, debe ser suficientemente bajo para asegurar el desarrollo de poblaciones bacterianas. Las bacterias metanogénicas requieren potenciales de oxidación-reducción por debajo de 350 mV..
- Nutrientes, con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos.
- Tóxicos e inhibidores, cuya concentración ha de ser la mínima posible.

Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores:

- Temperatura. Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termofílico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos.
- Agitación. En función de la tipología de reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de sustrato a cada población o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.
- Tiempo de retención. Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos.
- Carga orgánica. Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. El incremento implica una reducción en la producción de gas por unidad de materia orgánica introducida, debiendo encontrar un valor óptimo técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar.
- Presión en el digestor y tuberías.

### **3.5 ESTUDIOS DE TRATAMIENTO DE DESECHOS DE RESTAURANTES EN DIGESTORES**

Los sustratos ideales para la digestión son los desechos orgánicos húmedos de origen agrícola, industrial, doméstico y municipal, así como las excretas de origen humano y animal. Los residuos de la industria alimentaria y de las actividades agrícolas en particular, son excelentes como sustratos para la digestión, ya que no contienen contaminantes, patógenos, ni metales pesados. La presencia de nutrientes como carbono, nitrógeno y azufre, así como algunos elementos traza, es necesaria para el desarrollo de las comunidades microbianas encargadas de la producción de biogás. La relación carbono-nitrógeno debe estar en una proporción

de entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo. Si la proporción de nitrógeno aumenta, la producción de biogás puede disminuir debido a la formación de amonio, el cual se genera durante la degradación anaerobia de urea o proteínas. El amonio libre puede ser inhibitorio para la fermentación anaeróbica y tóxico para las bacterias metanogénicas. En este sentido no se recomienda utilizar un solo tipo de sustrato. Lo ideal es por el contrario, combinar materiales ricos en nitrógeno con materiales abundantes en carbono para obtener un buen balance de nutrientes que promuevan el adecuado crecimiento de los microorganismos que degradan la materia orgánica dentro del digestor y, de esta manera, aumentar la productividad del mismo.

Desde 1999, las plantas alemanas productoras de biogás mezclan las excretas animales con residuos industriales de alimentos, de la agricultura, de mercados, de restaurantes y del sector municipal. El rendimiento de las excretas vacunas y porcinas al utilizarlas como biomasa oscila entre 25 m<sup>3</sup>/ton y 36 m<sup>3</sup>/ton de masa fresca, debido a que el contenido de materia seca orgánica de las mismas es bajo (2% a 10%). Además, su relación carbono nitrógeno es baja debido a un exceso de nitrógeno que no puede acoplarse a la estructura bacteriana, produciéndose una pérdida de nitrógeno normalmente en forma de amoniaco (volatilización del nitrógeno). Por otra parte, la producción de biogás a partir de cosechas como remolachas de forraje, maíz y cebada, se encuentra entre 600 m<sup>3</sup> y 1,000m<sup>3</sup> por tonelada de masa orgánica seca. La relación carbono-nitrógeno de estos sustratos es superior a 30:1, por lo que son ricos en carbono.

Las grasas vegetales poseen un alto potencial energético debido a su composición química y elevado contenido de lípidos degradables por bacterias anaerobias. Cuando se agregan a los digestores pueden aumentar la productividad de biogás. El empleo de grasas de origen animal podría aumentar el riesgo de transmitir enfermedades. Se sugiere realizar un pretratamiento a los residuos provenientes de restaurantes, mercados y del área municipal para reducir el tamaño de partícula, separar los posibles contaminantes del proceso de digestión y facilitar la aplicación al suelo de los residuos tratados anaeróbicamente. Con respecto a esto último, se recomienda un tratamiento de pasteurización a 70°C durante una hora, para eliminar los gérmenes patógenos. De esta manera, la utilización de grasas vegetales junto con la combinación de sustratos ricos en nitrógeno y abundantes en carbono permite elevar la productividad de los digestores (GTZ, 1999).

### **3.6 PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN**

Los principales productos del proceso de degradación anaerobia, trabajados en sistemas de alta carga y en mezcla completa, son el biogás y un efluente estabilizado:

Uno de los subproductos de la producción del biogás en el digestor es el efluente. El efluente es el material resultante del proceso de descomposición de la materia orgánica introducida en el digestor. En muchos países este material es usado como fertilizante orgánico (GTZ, 1999). El uso del efluente como abono orgánico es recomendado, debido a que la digestión, comparada con la descomposición del estiércol al aire libre, reduce las pérdidas en el efluente, del nitrógeno de 18% a 1% y de 33% a 7% para el carbono.

El biogás es una mezcla gaseosa formada, principalmente, por metano y dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases, como H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc. La composición o riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso (Tabla 3.1).

*Tabla 3. 1 Composición química del biogás (Álvarez, 2004)*

	Residuos agrícolas	Lodos	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-1%	0.5-100 ppm
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas

### 3.6.1 BIOGÁS

El biogás se obtiene al descomponerse la materia orgánica debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de oxígeno:

1. las hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados.
2. Las acetogénicas, productoras de hidrógeno.
3. Las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético.

4. Las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70 % de metano (CH<sub>4</sub>), de 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), de 0 a 1 % de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y de 0 a 3 % de gas sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). En la Tabla 3.2 se muestran diferentes tipos de residuos y sus respectivos volúmenes producidos de biogás (Álvarez, 2004).

*Tabla 3.2 Volumen producido de biogás por tipo de residuo orgánico (Álvarez, 2004).*

Tipos de residuos orgánicos	volumen (m <sup>3</sup> /kg)
Residuos de mataderos y procesadoras de pescado	0.34-0.71
Residuos verdes de jardinería y agrícolas	0.35-0.46
Residuos orgánicos domésticos	0.40-0.58
Residuos de separadores de grasa	0.70-1.30
Purines agrícolas (estiércol de cerdo, de ganado)	0.22-0.55
Gallinaza (estiércol de aves, pollos, patos, etc.)	0.65-0.70

La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana tales como: temperatura, tiempo de retención, relación Carbono / Nitrógeno, porcentaje de sólidos y valor de pH (Álvarez, 2004).

#### TEMPERATURA

La temperatura afecta en forma directa a los procesos que controlan la proporción del crecimiento microbiano. Los tipos de digestión se van a diferenciar de acuerdo a la temperatura que trabaje el digestor. Existen tres rangos de temperatura, a los cuales se realiza el proceso, ellos son:

- 1.- Rango psicrófilico, va desde 10°C a 20°C.
- 2.- Rango mesófilico, va desde 20°C a 35°C.
- 3.- Rango termófilico, va desde 50°C a 60°C.

### DIGESTIÓN PSICROFÍLICA

Se caracteriza por funcionar con un rango de temperatura entre 10°C y 20°C. En ésta el calor no es suministrado exteriormente, ni está sujeta a las variaciones de la temperatura ambiente, sin ser necesaria una sofisticada aislación térmica.

### DIGESTIÓN MESOFÍLICA

Funciona con un rango de 20°C a 35°C, o bien, de 30°C a 35°C y con un tiempo de retención promedio de 20 días. El rango mesofílico de operación es el más utilizado debido a su semejanza con la digestión animal, a pesar que en la actualidad se está utilizando cada vez más el rango termofílico para conseguir una mayor velocidad del proceso y una mejor eliminación de organismos patógenos. Para ello se requiere de calor externo y agitación controlada.

### DIGESTIÓN TERMOFÍLICA

Se caracteriza por un rango de 50 a 60°C con un tiempo de retención entre 8 y 10 días, pero requiere de un elevado suministro de energía calórica, además de una mayor agitación controlada, en comparación con los dos anteriores. Las principales ventajas que presenta son las siguientes: Fermentación más rápida, disminución de la viscosidad de la solución, mayor producción de biogás por unidad de sólidos volátiles y una mejora en el postratamiento, ya que el efluente de la digestión termofílica es más fácilmente deshidratable, eliminación casi en un 100% de virus y bacterias patógenas y separación sólido líquido más rápido.

De los tres rangos que se muestran, se llega a la conclusión que las temperaturas óptimas para lograr una digestión para una elevada producción de metano y el correcto crecimiento de las bacterias (con un menor tiempo de retención de desechos en el digestor y un menor gasto energético) serían entre 30°C y 35°C (Lobos, 1999).

### 3.6.2 MEJORADOR DE SUELOS

Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol, purín); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos, (basuras de vivienda, excretas); compost preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados (Zamora y col., 1999).

Los abonos orgánicos tienen propiedades, que ejercen determinados efectos sobre el suelo, que hacen aumentar la fertilidad de este. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades que se mencionan a continuación.

1. Propiedades físicas.- El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden asimilar con mayor facilidad los nutrientes. El abono orgánico

mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste. Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento. Aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo agua en el suelo, durante el verano (Zamora y col., 1999).

2. Propiedades químicas.- Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH. Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumenta la fertilidad.
3. Propiedades biológicas.- Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios. Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.
4. Composición química de diversos abonos orgánicos.- Los abonos orgánicos también se conocen como enmiendas orgánicas, fertilizantes orgánicos, fertilizantes naturales, entre otros. Asimismo, existen diversas fuentes orgánicas como por ejemplo: Abonos verdes, estiércoles, compost, humus de lombriz, bioabonos, los cuales varían su composición química de acuerdo al proceso de preparación e insumos que se empleen.

Los abonos orgánicos como biosólidos y estiércoles aportan macro y micronutrientes al suelo que además de contribuir sustancialmente a la nutrición de cultivos agrícolas, también pueden mejorar las propiedades del suelo cuando se aplican en dosis apropiadas. En México existe un potencial de producción de estos abonos para beneficiar la superficie cultivable con estiércoles y biosólidos.

### 3.7 USO DEL EFLUENTE SEMILÍQUIDO EN DIGESTORES

Cuando la digestión llega a su término los efluentes degradados son excelentes como materias aboneras, debido a la alta concentración de nutrientes ya que el gas liberado está compuesto principalmente de carbono e hidrógeno, y sólo el 1% del nitrógeno total del residuo de alimentación. En la Tabla 3.3 se muestran los diferentes técnicas de procesamiento y sus respectivos porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio (Lobos, 1999).

*Tabla 3. 3 Composición química del estiércol procesado a diferentes técnicas (Lobos, 1999)*

Procedimientos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Estiércol amontonado	0.5%	0.3%	0.6%
Compostaje Sistema Indors	1.25%	0.95%	0.94%
Otro sistema de Compost	1.9%	0.8%	0.8%
Sistema biológico anaeróbicos	3.8%	2%	6.4%

Es de mucha importancia recordar que los efluentes degradados no deterioran el suelo, sino que lo fortalecen ya que abonan el suelo, debido a que este abono no posee gérmenes ni larvas de enfermedades parasitarias debido a que las bacterias anaerobias las extinguen. Además de que los efluentes logrados del proceso de producción del biogás, pueden ser sólidos o líquidos, cuya composición les da las características de abono.

Estos son denominados como, biosol (fase sólida), biól (fase líquida). El volumen del lodo o biomasa digerida es aproximadamente el doble del estiércol fresco. El lodo digerido tiene que llegar a los cultivos sin perder demasiado valor fertilizante.

De lodo digerido líquido (LDL) que se descarga frecuentemente de un digestor y por medio de filtración y floculación se separa la parte líquida de la sólida, y como es un factor que promueve el crecimiento de los vegetales, este efluente se puede aplicar al follaje, y a la semilla.

El lodo digerido sólido (LDS) es una fuente de materia orgánica que permite como fertilizante que es, una gran eficiencia al utilizarla y también evita la formación de maleza. El LDS constituye el lodo extraído del digestor y que luego de tratado y oreado, se emplea como abono orgánico enriquecido y como estimulante de crecimiento radicular y de la parte aérea de la planta.

El LDS imprime efectos hormonales en la planta, permite elevar el índice de área foliar, el peso específico foliar, la clorofila así como la tasa y la eficiencia fotosintética entre un 20 y un 40%.

Es importante considerar que la utilización de lodos mal digeridos, puede ser perjudicial para el suelo e incluso peligroso para la salud por la presencia de microorganismos patógenos que pueden contaminar las aguas subterráneas. Una práctica que da buenos resultados, es separar el líquido del residuo sólido por filtración y utilizar el líquido como fertilizante. En la Tabla 3.4 se muestran las ventajas que presentan los abonos de origen orgánico (Lobos, 1999).

*Tabla 3. 4 Comparación entre fertilizantes químicos y de lodo digerido (Lobos 1999)*

Fertilizante químico	Lodo digerido
Gran velocidad de absorción	Absorción de nutrientes más lenta
Los nutrientes no se acumulan	Efecto acumulativo de los nutrientes
Contaminación ambiental	Mínima contaminación



### **3.7.1 CULTIVO DE LEGUMINOSAS Y VEGETALES**

En la medida que la agricultura evolucionó hacia una producción industrial, se conformaron paquetes tecnológicos, dentro de los cuales estuvieron los fertilizantes sintéticos solubles, que básicamente incluyeron el nitrógeno (N), fósforo (P) y el potasio (K). Estos fertilizantes son muy ineficientes energéticamente y generan desequilibrios ambientales y nutricionales para las plantas y quienes las consumimos.

El panorama actual para la agricultura, es decir para la práctica que permite que nuestras civilizaciones se sustenten (coman, se vistan, se curen, etc.), no es nada alentador. La erosión de las tierras cultivables está en incremento, los desequilibrios de plagas y enfermedades no se han estabilizado. Sin embargo las sustancias tóxicas que se utilizan para combatirlas se han multiplicado, y la matriz energética sobre la cual está sustentada se está agotando. Efectivamente el petróleo se acabará y toda la agroindustria deberá mudar rápidamente, maquinaria, sistema de transporte y fertilizantes (Iturbide y Gómez, 1986).

Prácticas como la utilización de efluentes constituyen una oportunidad de desarrollar y expandir el potencial productivo de los suelos y brindar una elevada calidad nutricional a los alimentos, sin agredir el medio ambiente, se puede producir estos efluentes con elementos que existen en el medio de quien esté plantando.

Los efluentes tratados se pueden usar en diferentes cultivos alimenticios tales como: Manzana, espárrago, cebada, frijol, brócoli, col, coliflor, apio, cítricos, uvas, lechuga, maíz, duraznos, pimientos, pistachos, ciruelas, calabazas, y trigo. En otros cultivos agrícolas también usan aguas residuales: Alfalfa, árboles navideños, trébol, algodón, eucaliptos, semillas de flores, heno, maíz, césped, árboles y semilla de vegetales.

### **3.7.2 USO EN CAMPOS DE CULTIVO**

El destino actual generalizado de los desechos biológicos en algunas ciudades de México es el confinamiento en rellenos sanitarios. Sin embargo, la aplicación de desechos biológicos en suelos agrícolas, pastizales, bosques o elaboración de compost es común en otros países. Por ejemplo, 98% de los estiércoles y 75% de los biosólidos generados en los Estados Unidos son aplicados en suelos agrícolas, mientras que los materiales orgánicos ocupan el 40% del nitrógeno (N) utilizado en la producción agrícola (EPA, 1999).

En los Estados Unidos de América la aplicación apropiada de abonos orgánicos en suelos agrícolas aumenta como medio de disposición, reciclaje de nutrientes y conservación del agua. Aunque los desechos biológicos y estiércoles son materiales muy distintos química y físicamente, tienen en común que su utilización apropiada como fertilizantes orgánicos y mejoradores del suelo (EPA, 1999).

Para utilizar los lodos digeridos provenientes de un reactor anaerobio se deben revisar la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminaste para el aprovechamiento y disposición final de lodos y desechos biológicos.

La norma define a los desechos biológicos como lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento. En las Tablas 3.5 y 3.6 se especifican respectivamente los límites máximos permisibles para: metales pesados y, patógenos presentes en los desechos biológicos.

*Tabla 3. 5 Límites máximos permisibles para metales pesados en desechos biológicos (NOM-004-SEMARNAT-2002)*

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

*Tabla 3. 6 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y desechos biológicos (NOM-004-SEMARNAT-2002)*

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables  
NMP número más probable

El aprovechamiento de los desechos biológicos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la Tabla 3.7

*Tabla 3. 7 Aprovechamiento de desechos biológicos (NOM-004-SEMARNAT-2002)*

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Lo establecido para clase B Y C
EXCELENTE O BUENO	B	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Lo establecido para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	Usos forestales. Mejoramiento de suelos. Usos agrícolas.

- La aplicación de los desechos biológicos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetara a lo establecido en la ley federal de sanidad vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia
- Para la disposición de los lodos y desechos biológicos, estos deben cumplir con los límites máximos permisibles para el contenido del indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados en la Tabla de aprovechamientos de desechos biológicos.
- Los sitios para la disposición final de lodos y desechos biológicos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en materia.
- Los lodos y desechos biológicos que cumplan con lo establecido en la norma oficial mexicana, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenan debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.
- Se permite la mezcla de dos o más lodos o desechos biológicos, siempre y cuando ninguno de ellos este clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente norma oficial mexicana

### 3.7.3 OTROS USOS

El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse: La preparación de compost, la alimentación de peces y de animales en raciones balanceadas. Se han realizado numerosos ensayos y extendido sobre todo en Oriente, el uso del efluente como sustrato para el crecimiento de algas y peces en estanque cerrados. En otro tipo de estanques también se crían patos y peces, los que son aprovechados para confeccionar la ración de los animales.

Como un aditivo al material vegetal para la confección de compost, el efluente es excelente ya que aporta una buena fuente de nitrógeno que acelera el proceso y enriquece al mismo tiempo el producto final con fósforo y otros elementos. Por otro lado el proceso de compost, completa la efectiva destrucción de patógenos lograda en

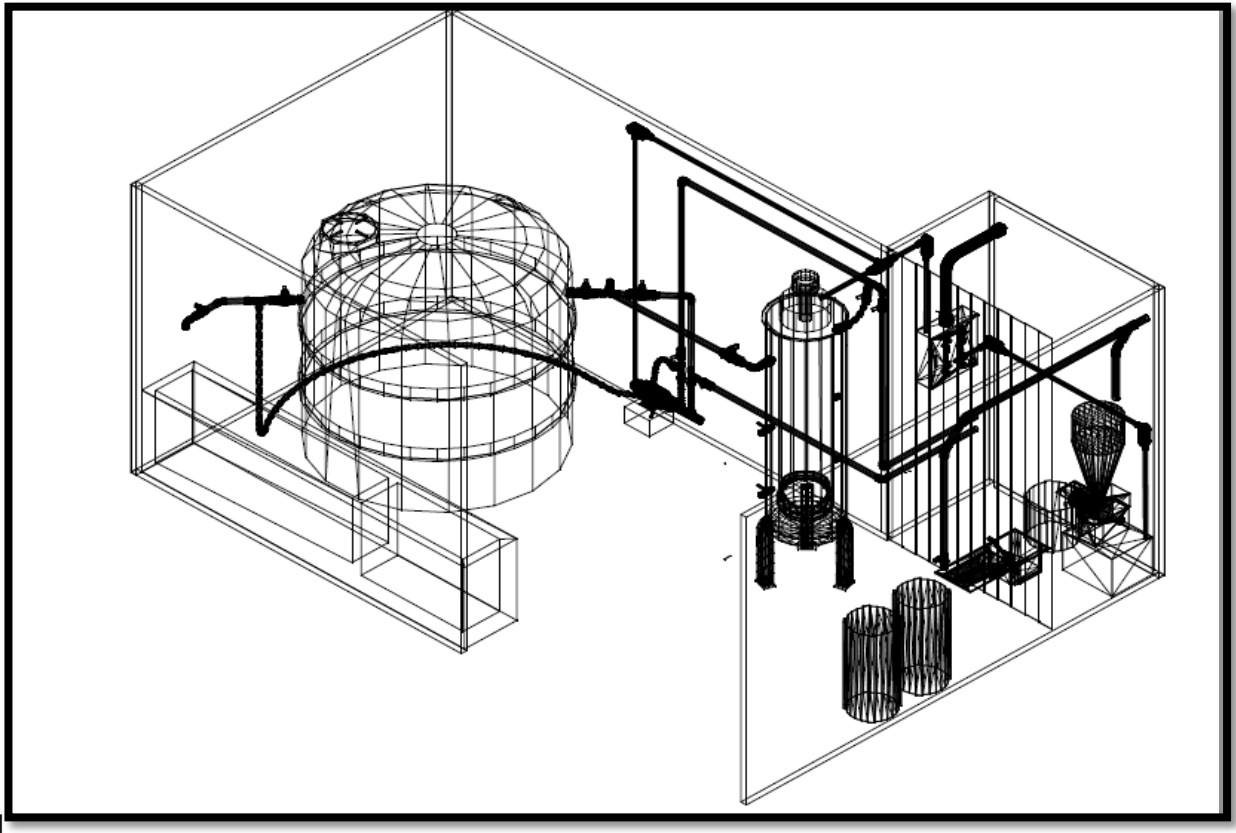
la digestión. Esto completa los usos potenciales del efluente de los digestores, últimamente otros productos de la digestión están utilizándose a nivel experimental como es el caso del CO<sub>2</sub> obtenido de la purificación del gas.

## CAPÍTULO 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 PLANTA DE BIOGÁS EN RESTAURANTE CIBARIUM

En este proyecto se tiene contemplado la utilización de los residuos orgánicos generados en la cafetería cibarium, mediante la aplicación de la tecnología de los reactores anaerobios, con lo cual se pretende obtener dos productos derivados de la degradación anaeróbica (biogás y efluente).

Por lo tanto se decidió la construcción de la instalación de los digestores, el cual está ubicado en la parte noroeste de la cafetería. En la figura 4.1 se muestra la propuesta de construcción de la planta que se instalará en el restaurante



*Figura 4. 1 Isométrico del digestor instalado en el restaurante Cibarium*

En el diagrama de flujo que se ilustra en la figura 4.2 se muestran los procesos mediante los cuales se obtienen: el biogás el cual está destinado a uso energético en los quemadores de la cocina de dicho restaurante. El efluente por su parte será utilizado como abono para el cultivo de la huerta orgánica.

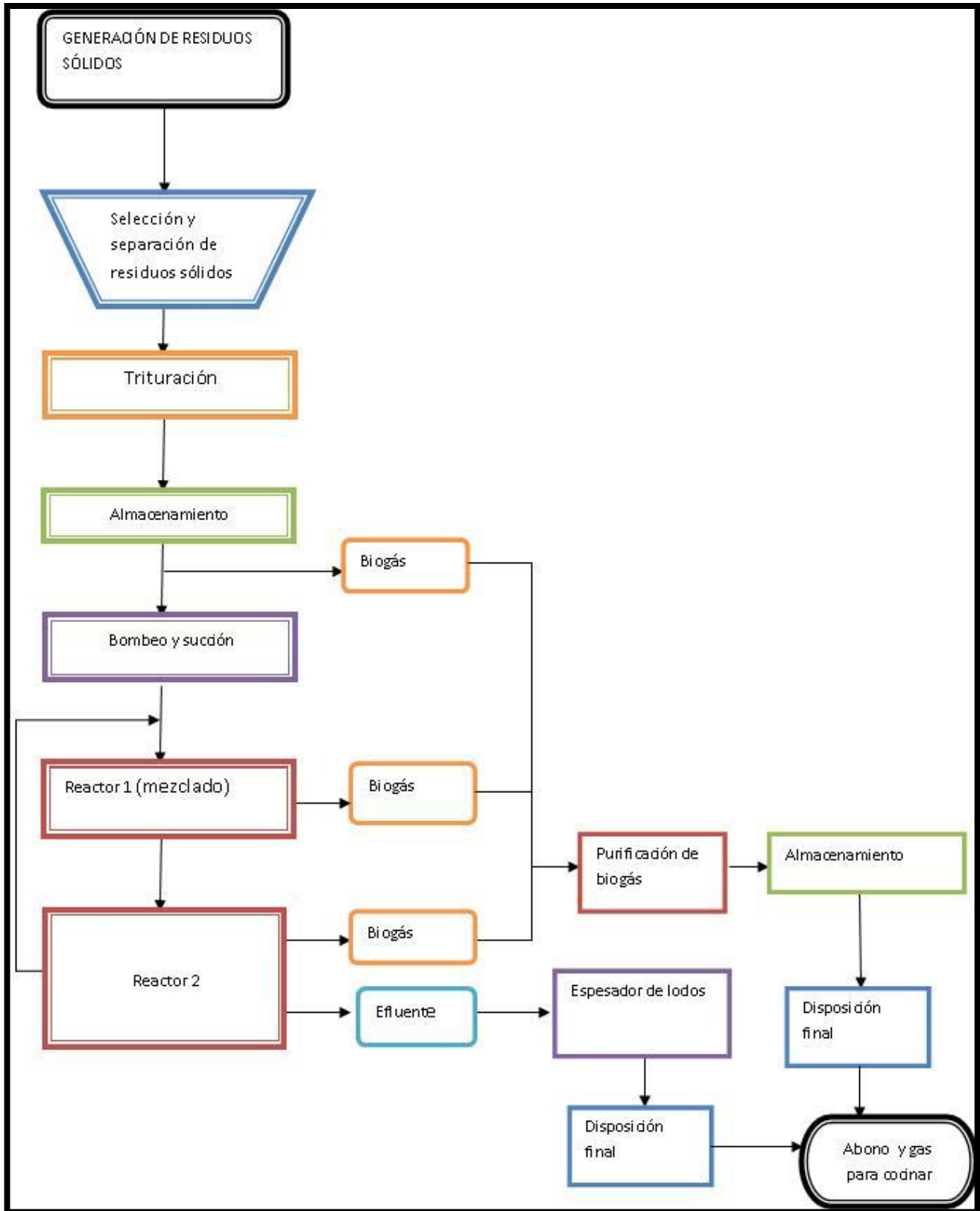


Figura 4. 2 Diagrama de flujo del proceso de transformación de los residuos sólidos en biogás y efluente

## 4.2 OPERACIONES UNITARIAS DE LA PLANTA DE DIGESTIÓN

La porción sólida-líquida que resulta del proceso de digestión puede ser retirada de la cámara de digestión y ser utilizada como abono por sus excelentes propiedades químicas y bacteriológicas.

La instalación general biogás, el cual será almacenado en bolsas diseñadas específicamente para este fin y por otro lado está los espesadores de lodos en los cuales se almacenará y sedimentará el efluente

### CARACTERÍSTICAS DE LOS DESECHOS

Una vez que se identifica la cantidad de desecho disponible, se deben conocer las características de este desecho. En teoría cualquier desecho orgánico tiene la capacidad de transformarse en biogás a través de un digestor. Sin embargo, existen características de los desechos que facilitan el buen funcionamiento del digestor y otras que impiden dicho funcionamiento. Las características físicas y químicas del desecho se pueden identificar mediante un análisis de laboratorio.

Contenido nutricional: Se recomienda que el sustrato que alimente el digestor tenga entre 5 a 15 miligramos de nitrógeno por cada gramo de demanda bioquímica de oxígeno (DQO) y 0.8 a 2.5 miligramos de fósforo por cada gramo de DQO. El exceso de nitrógeno puede ser problemático. Cuando hay exceso de nitrógeno se genera un exceso de amoníaco en el digestor, el cual podría ser tóxico para los microorganismos. Sustratos conocidos por altos contenido de nitrógeno son: aguas rojas, suero de leche y excretas de cerdo.

pH y alcalinidad: La idea es que el sustrato no sea ácido. Esto se expresa por el pH. La alcalinidad ayuda a mantener el pH deseable. Se recomienda que el efluente tenga un pH de entre 6.6 y 7.6 y una alcalinidad de entre 1,000 y 5,000 mg/L  $\text{CaCO}_3$  (Guardado, 2006). Estos valores son ideales dado que por debajo o encima de ellos, las condiciones para los microorganismos que producen metano (metanógenos) son negativas. Sustratos con pH ácidos son, por ejemplo, las aguas mieles, desechos de la agroindustria: piña, naranja o cítricos en general. La adición de bicarbonato de calcio o carbonato de calcio puede solucionar el problema de acidez.

Temperatura: El digestor funciona gracias a la acción de microorganismos. Estos microorganismos trabajan a temperaturas de entre 15 y 45 °C. El digestor no produce su propio calor, entre más frío esté, más lento trabajarán los microorganismos; y van a producir menos metano. Para contrarrestar esto es necesario hacer el digestor más grande y así darle más tiempo a los microorganismos para degradar los desechos.

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los parámetros que típicamente se analizan para evaluar la efectividad del desecho son: sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, alcalinidad y pH. La interpretación no es una tarea fácil.

Una relación útil es los sólidos volátiles por los sólidos totales (SV/ST) dando un indicativo de la estabilidad biológica del material. Entre más grande el número (por decir 70 a 80%) menos inestable está y da indicativos que el material se degradará dentro del digestor.

La proporción de sólidos suspendidos en relación con los sólidos totales es una forma de visualizar qué fracción de los sólidos totales puede ser degradada fácilmente.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un excelente parámetro para la estimación de producción de metano. Según algunos estudios, el uso de 0.35 m<sup>3</sup> de metano por cada kg de DQO destruido, es preciso para medir la producción de biogás.

El contenido de nitrógeno y fósforo es importante pues sirve para determinar si existen suficientes nutrientes para degradar los desechos. Como todo proceso biológico, los microorganismos dentro del digestor necesitan de nitrógeno y fósforo para su propio metabolismo.

Alcalinidad y pH son dos parámetros que se utilizan para determinar si el digestor se acidificará o no. Alta alcalinidad es deseable.

Históricamente desechos como excretas de vacas, caballos, cerdos y cabras, o aguas negras han presentado pocos problemas en un digestor. Desechos como sangre, suero de leche, aguas residuales industriales, tienen historial de ser más problemáticos y variantes, por lo que se sugiere enviar a laboratorio.

Otro caso en que se recomienda hacer un análisis de laboratorio, es cuando existe una combinación de desechos. Ejemplo, una granja de cerdos que mezcla excretas de cerdo, producirá metano, pero se sabe que la sangre involucrada en el proceso de matanza pueden presentar problemas (Guardado, 2006).



#### 4.2.1 DIGESTOR

El digestor que se instalará en el Cibarium es un sistema de dos etapas. La primera etapa la integra un reactor acidogénico de 1,000 L de acero inoxidable y la segunda etapa es un digestor de 5,000 L de polietileno de alta densidad. El plano se muestra la ubicación de los reactores y de sus accesorios (figura 4.3).

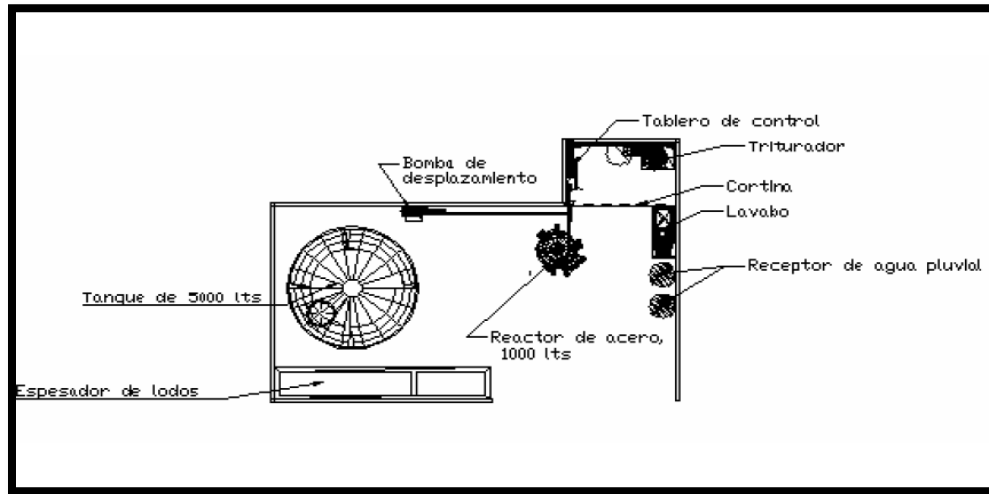


Figura 4. 3 Vista en planta de la instalación del digestor

El digestor acidogénico (figura 4.4) tiene un motor de 3HP para agitación interna de la biomasa y alimentado con una Bomba desplazamiento positivo de 1 ¼" de entrada y salida con motor de 2HP acoplada con un flujo de 1.26 l/s. Esta última bomba también tiene los arreglos sanitarios necesarios para recircular el contenido del segundo reactor. Los residuos a alimentar se trituran con un triturador de 1HP.



Figura 4. 4 Reactor acidogénico de 1000 L

#### 4.2.2 DISPOSICIÓN DEL BIOGÁS

El biogás que se genera dentro del digestor se conduce a través de un sistema de tuberías (figura 4.5) hasta su lugar de aprovechamiento



*Figura 4. 5 Sistema de tuberías de los reactores anaerobios*

El biogás se purifica del contenido de agua con un serpentín de acero inoxidable y del contenido de  $H_2S$  con un purificador de virutas de hierro. El biogás se almacena en 4 bolsas de 1m x 1m de polietileno de alta densidad ( figura 4.6) que están colocadas en la azotea del restaurante. Una vez almacenado el biogás de un día, se enviará para su combustión en una de las parrillas de calentamiento de comida del restaurante.



*Figura 4. 6 Bolsas de almacenamiento del biogás*

### 4.2.3 DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE

Diariamente se estima una generación de efluente de 100 litros. El efluente se extrae del segundo digestor (figura 4.7) y se deposita en unas piletas específicamente diseñadas para sedimentar y separar al efluente (figura 4.8) .



*Figura 4. 7 Digestor de 5000 L*



*Figura 4. 8 Espesadores de lodos*

Una vez separado los lodos, el efluente se almacenará en botes perfectamente sellados para garantizar la conservación de nutrientes y su posterior aplicación en la huerta orgánica, siguiendo las indicaciones para el uso y aplicación del efluente, de tal forma que se logre el mayor aprovechamiento de nutrientes

## CAPÍTULO 5 RESULTADOS

### 5.1 RESTAURANTE EL CIBARIUM EN CIUDAD UNIVERSITARIA

La cafetería Cibarium (figura 5.1) se encuentra ubicada a un costado de la alberca olímpica universitaria, a 50 metros de la facultad de ingeniería, cuenta con un horario de 7:00 AM a 8:00 PM. La cafetería Cibarium un concepto vanguardista, equipada con mobiliario ergonómico, cocina de alto diseño e iluminación con ahorro de energía. El número máximo, medio y mínimo de comensales que presenta es de 500, 250 y 100, respectivamente. Los periodos en los que hay más, menos comensales y el tiempo en que se mantienen inactivos son: Periodo escolar, en las vacaciones escolares y en vacaciones administrativas, respectivamente.



*Figura 5. 1 Restaurante Cibarium*

### 5.2 ESTADÍSTICAS DEL RESTAURANTE

La cafetería Cibarium produce aproximadamente 500 comidas al día, las cuales se enlistan a continuación:

- 400 menús de estudiante
- 80 platillos
- 20 servicio de restaurante

Las características de los desechos orgánicos del restaurante son:

- Humedad, 80%, puesto que el desperdicio se mezcla con agua.
- Lo seco se atribuye al pan.
- El pH tiene una tendencia a ser ácido pero se puede neutralizar fácilmente.

En esta cafetería se puede observar que los residuos son de tipo muy variado y tamaño que oscila entre los 2 a 4 centímetros, comprendiendo esto, restos de naranja, verdura, frutas diversas, frijoles, arroz, pollo, carne de res y cerdo, pan, tortilla, chile, cáscaras de huevo y residuos de pescado. Al realizar las mediciones en la cafetería Cibarium, se logró observar que los residuos no son separados adecuadamente ya que en los botes destinados a los residuos orgánicos no muestran señales de una excelente separación. Se puede observar que en el bote destinado a residuos orgánicos, presenta otro tipo de residuo distinto a los orgánicos.

Se puede observar que en algunas cafeterías la variación entre la máxima y la mínima producción de ROU es significativa. Esto se debió a que en algunas ocasiones los residuos habían sido mezclados con residuos inorgánicos y por tanto sólo se procedía a medir la fracción de los que estaban separados de origen.

Los residuos que con mayor frecuencia se presentaron en los botes de recolección de basura orgánica, así como la proporción de los mismos. Se en listan en las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3 donde se presentan características propias de los residuos de la cafetería en estudio.

*Tabla 5. 1 Tipos y proporción de los RSU generados con mayor frecuencia en la cafetería Cibarium (Huerta, 2010)*

TIPO DE RESIDUO ORGÁNICO	PROPORCIÓN
Restos de zanahoria, chayote, cebolla, cilantro, lechuga y jitomate	50%
Restos de pan y tortilla	
Restos de melón y papaya	
Cáscaras de naranja	50%

*Tabla 5. 2 Resultados de la caracterización física de los residuos generados en la cafetería Cibarium (Huerta, 2010).*

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD	1,414.47 kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD	30%

*Tabla 5. 3 Producción diaria promedio máxima y mínima de ROU generados en restaurantes de CU (Huerta, 2010)*

CAFETERÍA	PROMEDIO kg ROU/día	PRODUCCIÓN MÁXIMA kg ROU/día	PRODUCCIÓN MÍNIMA kg ROU/día
ARQUITECTURA	32.79	90	8.0
FILOSOFÍA Y LETRAS	76.70	107	52.0
INSTITUTO DE FÍSICA	8.50	9.5	6.5
DISEÑO INDUSTRIAL	10.20	12	8.0
ODONTOLOGÍA	19.60	22	18.0
CONTADURÍA	13.60	16	12.0
CAFESIN ANEXO DE INGENIERÍA	31.70	46	26.0
MEDICINA	14.60	18	11.0
EX REPOSO DE ATLETAS	8.80	14	70.0
FRUTERÍA ANEXO DE INGENIERIA	133.80	173	115.0
CIBARIUM FACULTAD DE INGENIERÍA	65.00	73	59.0
TOTAL	426.25	593	330.5

### 5.3 IMPLEMENTACIÓN DE HUERTA ORGÁNICA

Realizar una huerta orgánica provee de una alimentación sana y completa. En la huerta orgánica se puede producir una gran variedad de verduras, las que brindan vitaminas y minerales, asegurando de esta manera una alimentación equilibrada.

Una huerta orgánica es sinónimo de agricultura ecológica, ya que no se requieren muchas herramientas, ni productos químicos en todo el proceso de cultivo, recolección, manipulación y conservación.

Todos los productos que se utilizan como fertilizantes y plaguicidas son de origen natural. Se emplean métodos como la rotación de cultivos, enterrado de los rastrojos para reutilizar sus elementos nutritivos o quemarlos, si existen enfermedades. Algunos de estos métodos se utilizaban antiguamente, pero resultan innovadores por haberse dejado de utilizar desde hace años. Hacer su propia huerta orgánica será una experiencia en la cual aprenderá muchas cosas nuevas y comprobará que las verduras y leguminosas producidas con abono natural tienen un mejor olor, sabor y calidad, que las verduras tratadas con agroquímicos.

Una huerta orgánica es un lugar donde se cultivan hortalizas más sanas de forma natural y económica; y además no daña el medio ambiente (Espinosa, 1985).

Esto significa que en la huerta orgánica se practica Agricultura Ecológica, es decir:

- Nunca se usan productos tóxicos porque alteran el medio ambiente y pueden dañar directamente nuestra salud.
- Se mejora y fertiliza el suelo con abonos naturales u orgánicos.
- Se siembra una gran variedad de hortalizas y hierbas para mantener el equilibrio biológico en la huerta.
- Se asocian los cultivos para no exigir a la tierra los mismos nutrientes y también se desarrolla la rotación adecuada para obtener plantas vigorosas y para no agotar la tierra.

Cultivar hortalizas orgánicas permite tener:

- Una variedad de alimentos sanos, frescos, nutritivos y sabrosos libres de sustancias tóxicas a un bajo costo.
- Un espacio verde y bello en el hogar, en el trabajo o en la escuela donde se puede aprender sobre las diferentes hortalizas y su producción.
- Además se puede contribuir a la conservación del medio ambiente, pues si se cultiva las hortalizas de una manera ecológica no agotamos recursos naturales como el agua, el suelo y la biodiversidad, que son imprescindibles para vivir.

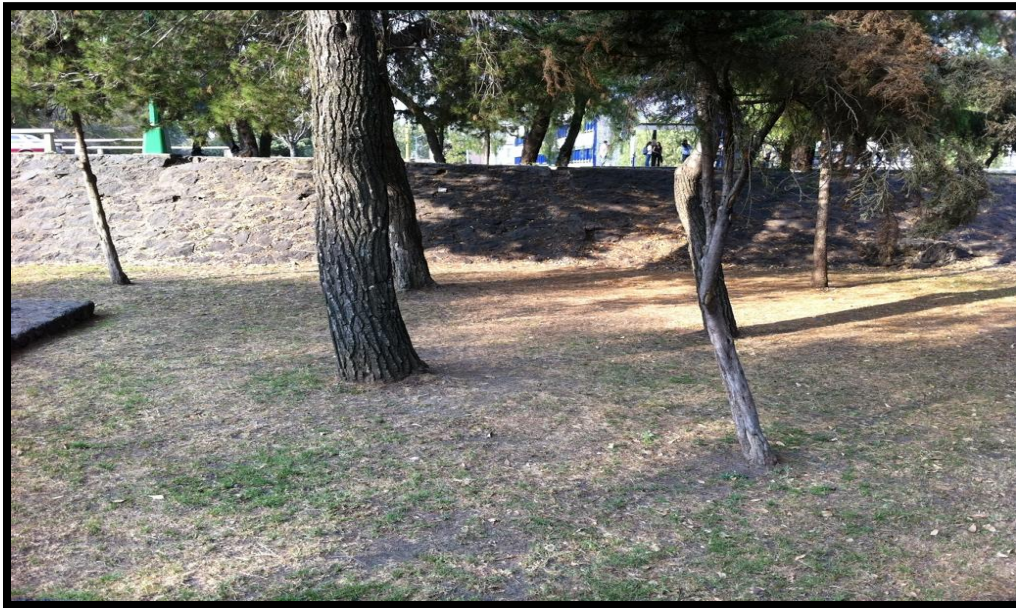
## CONSIDERACIONES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA HUERTA ORGÁNICA

### Ubicación de la huerta orgánica

El lugar adecuado para la huerta orgánica deberá tener las siguientes condiciones:

- a) El terreno debe estar cerca de una fuente de agua ya sea un río, grifo o pozo; y no debe estar muy alejado para facilitar el trabajo y cuidado de la huerta.
- b) Exposición al sol. Conviene ubicarla donde no haya sombra de los árboles.
- c) El terreno no debe ser arenoso, pedregoso ni duro y además debe estar nivelado con el resto del terreno. La tierra deberá ser suelta y fácil de trabajar. La mejor tierra casi siempre es de color oscuro, muestra que es rica en nutrientes.
- d) Deberá tener espacio suficiente para que las plantas puedan desarrollarse, para ello hay que planificar lo que se sembrará y así habrá una buena cosecha.

En la figura 5.2 se muestra un área que cumple con las condiciones previamente mencionadas, la cual está a un costado del restaurante Cibarium.



*Figura 5. 2 Ubicación de huerta orgánica a un costado del restaurante*

## HERRAMIENTAS RECOMENDADAS

Las herramientas de trabajo deben ser sencillas y funcionales. No necesitamos herramienta o maquinaria costosa y complicada. Recomendamos rastrillo de jardinero, pala recta, rastrillo, cultivador largo, cultivador, trinche y cuchara para trasplante. Además, se requiere un cuchillo plano, redondo y sin filo para el trasplante del

almácigo, cubetas de 20 litros y tabla para trasplante y doble excavado de 1.4 metros por 0.8 metros y 12 milímetros de grosor. El pico y azadón, o pala de cuchara, son opcionales (Jeavons, 2002).

## **PREPARACIÓN DE LA CAMA DE CULTIVO**

La cama de cultivo (también conocida como cantero, camellón, tablón o melga) es el área donde vamos a trasplantar o plantar. Se necesita crear una estructura de suelo ideal y los nutrientes apropiados para que las plantas crezcan sanas y constantemente.

La tierra floja y fértil permite que las raíces penetren con facilidad y que continuamente circulen nutrientes hacia el tallo y las hojas. Por tanto, una planta de almácigo trasplantada en un suelo aireado, húmedo, con materia orgánica y nutrientes naturales se desarrollará muy fuerte y resistente a las plagas y enfermedades.

Las dimensiones ideales de la cama son 6.5 metros de largo, 1.5 metros de ancho y 60 centímetros de profundidad. Los pasillos deben medir entre 50 y 40 centímetros. En todo caso, el largo de la cama depende del terreno adecuado disponible. Se recomienda empezar con una cama para desarrollar habilidades y después aumentar el número en los años siguientes (Jeavons, 2002).

El ancho de la cama lo determina principalmente el largo de los brazos de la persona que cultivará la cama. Para calcularlo se mide la distancia de la punta de la nariz a la punta de los dedos de la mano y se multiplica por dos.

El riego, abonado, deshierbe y cosecha se deben hacer desde fuera de la cama; si se hace más de una, se tiene que considerar el ancho de los pasillos para no pisarla y no compactar el suelo.

Las plantas se alimentan por las raicillas. Si el suelo está flojo y con la profundidad adecuada, la planta desarrollará más raíces, los cuales penetrarán más hondo. Así, la planta se alimentará con facilidad y crecerá mejor, al no gastar mucha energía en perforar la tierra. Las raíces bien desarrolladas aumentan la resistencia de las plantas contra las plagas y enfermedades. Para trazar la cama se debe colocar cuatro estacas, una en cada esquina, y amarrar y extender una cuerda, mecate o rafia entre ellas para delimitarla.

Si el suelo no tiene 60 centímetros de profundidad y la mayoría es roca, es posible hacer las camas elevadas, elaborando composta y creando suelo por encima del nivel. Se puede colocar ladrillos o tablas para que el suelo no se desparrame, es decir, hacer canteros o cajones largos donde depositar el suelo. A esto se le conoce como camas elevadas (Espinosa, 1985).



## DOBLE EXCAVACIÓN

Éste es el primero y uno de los más importantes pasos, pues su práctica permite la entrada de aire al suelo, con lo que ayudamos a que la vida se desarrolle mejor y se retenga más agua para las plantas, se debe preparar bien el terreno, es decir, crear las condiciones necesarias para que el esfuerzo sea menor.

Si se cultiva por primera ocasión una cama se hace lo siguiente:

1. Si el suelo está seco y es muy arcilloso, después de trazar bien la cama, es recomendable regarlo media hora por la tarde o noche durante tres días.
2. Posteriormente se deshierba y con el bieldo jardinero se aflojan los primeros 30 centímetros de suelo.
3. Se vuelve a regar la cama, pero ahora por 45 minutos, de preferencia por la tarde, y se deja que el suelo descanse un día.
4. Para mejorar la textura del suelo, si éste es muy arcilloso, se puede esparcir una cubeta y media de arena por cama.
5. Dependiendo de las condiciones del suelo se deben incorporar a la cama las siguientes cantidades de composta:
  - Si es buen suelo seis cubetas de 20 litros.
  - Si es muy pobre, no tiene suficiente materia orgánica o es muy arenoso o arcilloso, 12 cubetas de 20 litros sólo una vez.
  - Es preferible tener composta antes de comenzar el huerto, pero si no se cuenta con ella, se puede añadir estiércol seco y fermentado (maduro), aproximadamente unas tres cubetas la primera vez.
6. Se riega la cama ligeramente, a mano durante 10 minutos, y se tapa de preferencia con costales, plástico o si es posible con malla sombra; se deja descansar un día.

La doble excavación se realiza una vez al año, de preferencia para los cultivos de primavera verano, ya que a inicios de esta última estación comienzan las lluvias, por lo que con los 60 centímetros de suelo flojo se tendrá mayor capacidad para captar agua suficiente y tener reserva para los cultivos de invierno.

Para la doble excavación necesitamos una pala recta, el bieldo jardinero, el rastrillo, el cultivador largo y la tabla. Se debe ejecutar los siguientes pasos:

1. Cavar en un lado de la cama una zanja de 30 centímetros de profundidad y 40 centímetros de ancho; el largo dependerá de lo ancho de la cama la tierra que se saca se coloca en las cubetas (aproximadamente siete), para después hacer la composta y los almácigos.
2. Aflojar la tierra del fondo de la cama con el bieldo jardinero a 30 centímetros de profundidad; si el suelo está muy seco o compacto se le puede agregar el agua necesaria.

3. Si es la primera vez que se realiza la doble excavación en la cama y la tierra es muy pobre en nutrientes y materia orgánica, se debe poner en el fondo de la zanja una capa de cuatro centímetros de composta o de un centímetro de estiércol maduro.
4. En los siguientes 30 o 40 centímetros, excavar otra zanja, y con la tierra de esta segunda zanja tapar la primera.
5. En la segunda zanja aflojar otra vez el fondo de la cama con el biello jardinero y repetir los pasos dos al cinco hasta terminar la cama.
6. Usar la primera tierra que se sacó y que metimos en las siete cubetas para la composta, los almácigos o para tapar la última zanja.
7. Nivelar la cama con el rastrillo.
8. Esparcir sobre la superficie de la cama siete cubetas de 20 litros con composta; si se tiene también agregar los abonos orgánicos.
9. Incorporar estos nutrientes picando con el cultivador largo o el rastrillo.
10. La cama está lista para sembrar o trasplantar.
11. Si no se va a sembrar o trasplantar ese mismo día, se recomienda regar la cama tres minutos a mano, imitando la lluvia, y se tapa con costales, tela o malla sombra.

Con la doble excavación aflojamos la tierra a 60 centímetros de profundidad. Es posible que la primera vez sólo se alcancen de 35 a 45 centímetros de profundidad. No hay que preocuparnos, está bien para un inicio, no es necesario forzarnos demasiado ni maltratar las herramientas; con el paso de los años cada vez que se realice la doble excavación la profundidad aumentará entre siete y 15 centímetros gracias a las raíces de las plantas, las lombrices, los ácidos de la composta y la constante humedad (Jeavons, 2002).

La cama así preparada tiene la textura y los nutrientes apropiados para ser sembrada. A pesar de haber tomado de cinco a siete cubetas de suelo, la altura de la cama se eleva entre cinco y diez centímetros. Lo importante es añadir oxígeno al suelo y con la doble excavación lo incorporamos y ayudamos a la vida en el suelo, lo que hará una cama saludable con plantas sanas.

## **MANTENER LA FERTILIDAD DEL SUELO**

Para mejorar la fertilidad del suelo se toma en cuenta lo siguiente:

- a) Si se tiene un suelo arenoso se mejora agregándole bastante material orgánico como compost o tierra negra y si se trata de un suelo arcilloso y compactado se puede mejorar agregándole compost y arena.
- b) Para evitar que el suelo pierda sus nutrientes hay que aplicar la rotación de los cultivos, es decir, alternar adecuadamente distintos cultivos en el tiempo.
- c) Se abona la tierra por lo menos una vez al año con abonos orgánicos.

- d) Sembrar legumbres como garbanzo, haba y frijol es una forma excelente para enriquecer el suelo con nitrógeno.
- e) Es bueno cubrir el espacio raso entre las hortalizas con algún material vegetal disponible, como puede ser paja, hojas secas, aserrín, o cáscara de arroz, para mantener la humedad en el suelo, evita la erosión e impide que crezcan las malezas.

## ROTACIÓN DE CULTIVOS

Las plantas se comportan de distinta manera con la tierra. Las diversas especies tienen "preferencia por algún nutriente en particular e incluso existen plantas que pueden mejorar la fertilidad del suelo, por eso, la rotación de cultivos juega un rol importante y significa alternar adecuadamente distintos cultivos en el tiempo, es decir, nunca sembrar lo mismo en la tierra donde se ha cosechado hace poco. Consultar Tabla A. 4 del anexo.

La rotación de cultivo nos permite:

- Mantener la fertilidad del suelo
- Evitar la propagación de plagas y enfermedades
- Tener hortalizas todo el año

Las plantas se pueden clasificar

- Donantes (leguminosas como frijol, habas, alfalfa, veza de invierno, lentejas, por ejemplo), que ayudan a abonar el suelo.
- Consumidoras ligeras (lechugas, rábano, betabel, zanahoria, hierbas y plantas de olor, entre otras), que no requieren muchos nutrientes del suelo.
- Voraces (papa, jitomate, maíz, calabaza, chile, ajo, girasol, avena, sorgo, ajo, cebolla, granos como trigo y centeno, por citar algunas), que necesitan una alta cantidad de nutrientes para desarrollarse y que pueden agotar el suelo.

En la temporada principal (primavera-verano) no se planta el mismo cultivo o a un miembro de su familia en la misma cama durante dos años seguidos. En áreas donde se pueden plantar dos o más cultivos en la misma cama durante el año, no se planta dos veces el mismo cultivo o a un miembro de su familia. Es ideal plantar un "cultivo de ciclo breve" de aproximadamente 60 días después de la temporada principal: las variedades de frijol de rápida maduración y el amaranto son muy útiles (Jeavons, 2002).

En el ciclo otoño-invierno se plantan los granos de invierno, por ejemplo, después de haber sembrado alguna consumidora ligera o principalmente una donadora (leguminosa). Si se siembra una planta voraz es recomendable plantar después una leguminosa como la veza de invierno, el haba de invierno y la alfalfa, para que posteriormente en la temporada principal el suelo esté recuperado y con suficientes nutrientes.

Otra opción es cultivar una mezcla de semillas de granos de clima frío (como el trigo, el centeno o el triticale) con leguminosas (como la veza de invierno y la haba) y cosechar toda la plantación antes de que madure.

Posteriormente plantar un cultivo principal a tiempo para que pueda madurar, y lo que cosechamos inmaduro usarlo para hacer composta

## **ASOCIACIÓN DE CULTIVOS**

Asociar los cultivos significa sembrar o plantar aquellas plantas, que por uno u otro motivo, se complementan beneficiándose entre sí, es decir, como sucede en la naturaleza, ciertas plantas crecen mejor en compañía de otras, sin embargo, se debe aprender a conocer las buenas y las malas compañías entre los vegetales, también es importante conocer la familia a la que pertenece cada una de las hortalizas porque así se sabe que hortalizas se pueden asociar. Consultar Tabla A. 4 del anexo.

Cuando una plántula está en edad de ser trasplantada establece relaciones cada vez más estrechas con las plantas que la rodean. Estas relaciones son especialmente importantes entre las plantas adultas a medida que se van desarrollando de acuerdo con su tipo y variedad, esencias y aromas diferenciados.

Cuando sembramos ciertas plantas junto a otras se benefician, pero algunas no, como, por ejemplo, el ajeno, cuyas secreciones tóxicas de hojas y raíces no permiten el desarrollo adecuado de las plantas a su alrededor, o el eucalipto, que forma desiertos en sus inmediaciones.

Esos mecanismos particulares posibilitan a dichas plantas sobrevivir y aumentar su población. Los antepasados practicaban la asociación de cultivos en el huerto y ahora el método biointensivo la retoma. Para asociar cultivos se debe:

1. Buscar la vinculación adecuada de plantas, que mejore su sabor, tamaño o resistencia.
2. Evitar asociaciones inconvenientes de plantas, es decir, de la misma familia o que requieran el mismo tipo de nutrientes para impedir la competencia entre éstas y la pérdida excesiva de minerales en el suelo.
3. Aprovechar las propiedades tóxicas o repelentes de determinadas plantas para proteger el huerto de insectos y plagas.

Tener dos cultivos diferentes al mismo tiempo en una misma cama nos proporciona dos cosechas y más alimentos en poco espacio. La asociación de cultivos beneficia a las plantas en materia de salud y crecimiento; nutrición y protección física; y control de insectos y plagas. El cultivo y asociación de plantas debe llevarse a cabo en las fechas adecuadas considerando las características de los vegetales y las condiciones climatológicas de las estaciones del año.

La mayoría de las hierbas medicinales y plantas aromáticas sirven para el control de plagas de insectos en el huerto, por lo que siempre se debe asociar o tenerlas alrededor o en lugares especiales en el huerto. El tomillo, la mejorana, la hierbabuena, la menta, el romero, la albahaca, entre otros, por su olor repelen insectos y plagas, además de que mejoran el sabor de ciertas hortalizas. Consultar Tabla A.1 del anexo.

Las flores como el cempasúchil, el cosmos (mirasol), el cempasúchil enano, las petunias, atraen algunos escarabajos que depositan sus huevecillos en los frutos de determinadas hortalizas, cereales y maíz, lo cual evita plagas nocivas. También atraen insectos benéficos que favorecen la polinización y aumentan el rendimiento en las cosechas (Espinosa, 1985).

## **SIEMBRA DIRECTA**

El método recomienda la siembra en almácigos, pero si se desea la siembra directa se debe considerar la manera de distribuir la semilla en la cama y la profundidad de la siembra. La distribución será, a “tresbolillo”, en forma hexagonal y la profundidad será igual a tres veces el grosor de la semilla. Conviene auxiliarse de una varita con la distancia adecuada o un marco de malla de gallinero para poner las semillas en su lugar. No se recomienda la siembra en surcos, pues se desperdicia espacio, agua y trabajo, ni caminar entre los surcos, ya que se compacta la tierra y el rendimiento es menor. Los pasos para realizar la siembra directa y obtener buenos resultados son los siguientes:

1. Se hacen surcos en los tabloncillos donde se desea sembrar, dejando suficiente espacio entre ellos. El espacio entre surco y surco varía según la hortaliza, por ejemplo, se necesitan 30 cm entre surcos, cuando se siembra acelga pero cuando se siembra zanahoria sólo se precisan 5 cm.
2. Señale cada surco con un palito, así no olvidará dónde debe regar y desyerbar.
3. Rocíe cada surco con un poco de agua y siembre las semillas. Existen tres formas de sembrar:
  - Chorro continuo: Se hace un surco y se deja caer las semillas de la mano
  - De golpe: Se deja caer en cada agujero de 2 a 3 semillas
  - Al voleo: Se distribuye uniformemente en la cama
4. Se cubre las semillas con tierra y se riega cada surco con mucha suavidad, para evitar que la tierra que cubre las semillas sea arrastrada por el agua.
5. Las plantas deben tener espacio suficiente para poder desarrollarse.

Finalmente se cubre con aserrín o paja los surcos sembrados para que las semillas queden protegidas de las lluvias y el sol fuerte, es importante regar seguido para que las semillas germinen (Jeavons, 2002).

## **SIEMBRA EN ALMÁCIGO**

Los almácigos son pequeños cajones donde se siembran directamente las plantas para facilitar su germinación y se comiencen a desarrollar en las mejores condiciones. La siembra en almácigo es muy ventajosa: las plantas están en un sólo lugar, se pueden cuidar mejor, se gasta menos agua, tiempo y energía.

Se sugiere que los almácigos sean cajas de madera de 60 centímetros de largo por 35 centímetros de ancho y 10 centímetros de profundidad. Son útiles los cajones o rejas con los que transportan frutas y verduras. El largo y ancho pueden variar, pero no la profundidad, porque si las raíces de las plantas tocan el fondo “sienten” que han

alcanzado su límite de crecimiento y envejecen prematuramente, florecen o dan frutos pequeños e inútiles. Consultar Tablas A.2 y A.3 del anexo.

La tierra para almácigo se prepara mezclando por partes iguales suelo común, preferentemente de la cama, composta y tierra vieja de almácigos anteriores. Si el suelo es muy arcilloso, se le puede agregar uno o dos puños de arena por cajón. Cuando se prepara almácigo por primera vez, en vez de tierra vieja de almácigo se utiliza arena. Se humedece un poco la mezcla y posteriormente realizar la siembra. Al igual que en la siembra directa, las semillas deben sembrarse a una profundidad de tres veces su diámetro y cubrirse con composta cernida.

Todas las plantas pueden sembrarse en almácigo y después trasplantarse al suelo. La familia de la col y el brócoli, el jitomate, el chile y el amaranto, por ejemplo, pueden sembrarse una vez y trasplantarse hasta dos veces la plántula a un segundo almácigo (Jeavons, 2002).

El almácigo debe mantenerse húmedo, libre de hierbas y protegido del sol excesivo, lluvias, heladas y granizo; de ahí la importancia de que las medidas de las cajas sean las adecuadas para transportarlos con facilidad.

## **USO DE SEMILLAS DE POLINIZACIÓN ABIERTA**

La producción alimentos depende de semillas híbridas, de unas cuantas variedades, las cuales son comercializadas por empresas transnacionales. Ciertamente los rendimientos son altos, pero los cultivos requieren grandes cantidades de agua, fertilizantes e insecticidas con costos cada vez más elevados, y los dos últimos causan más problemas al ambiente que beneficios.

Utilizar semillas de polinización abierta, las que empleaban los abuelos para sus cultivos. Son conocidas en muchos lugares como criollas y nativas. Estas semillas son las que la naturaleza creó y, por tanto, son recursos naturales valiosos para los seres humanos, ya que nos proporcionan alimentos. Por eso es importante su uso y conservación. Además, muchas de ellas son patrimonio de las naciones, como el maíz, que es capital natural y cultural de los mexicanos, pues es originario del país. Consultar Tabla A.7 del anexo.

Para producir las semillas se debe:

- Cuidar que la cama esté bien hecha con el doble excavado, tenga composta suficiente y las mejores plántulas.
- Seleccionar con cuidado las mejores plantas de la cama, las más sanas, vigorosas y frondosas, que hayan germinado mejor y más pronto, que sean más resistentes a las plagas, el calor y la falta de agua.
- Dedicar al menos cinco plantas de cada especie para producir semillas con la fuerza para diversificarse, a fin de asegurar la diversidad genética.
- Cuidar las plantas seleccionadas con más esmero, ponerles estacas, dejarlas crecer, florecer y que formen la semilla. Las flores y las semillas deben estar secas, por lo que al regar hay que evitar mojarlas.

- Procurar que la cosecha sea en un día seco y soleado.
- Poner la semilla en una malla de alambre o papel absorbente, colocarlo en un lugar seco, tibio y aireado por cinco días a la sombra.
- Guardar la semilla seca y limpia en un frasco con tapón de rosca bien cerrado en un lugar fresco y seco. Para proteger la semilla del calor y la humedad, introducir en el frasco una pequeña bolsa de cenizas blancas de madera.
- Anotar en una etiqueta o papel el nombre del cultivo, su variedad y fecha de cosecha, y colocarla dentro del frasco.

Si se atiende estas sencillas instrucciones, además de intercambiar semillas con amigos o vecinos, y observar cuidadosamente el proceso, no se necesita comprar semillas para producir los alimentos.

La época de la siembra está estrechamente ligada al clima de la región.

## **LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE GERMINACIÓN**

La temperatura es otro factor que determina la germinación al activar una serie de enzimas que inician los procesos metabólicos adecuados. La temperatura depende también de cada tipo de planta, aunque la mayoría de las plantas germinan antes cuando las temperaturas son más elevadas. Estas condiciones se suelen cumplir cuando plantamos la semilla en la época ideal. Consultar Tablas A.5 y A.6 del anexo.

## **EL TRANSPLANTE**

Cuando la planta está lista, es decir, después de tres a cinco semanas de estar en el almácigo, dependiendo del tipo y variedad de planta, es momento del trasplante. El trasplante genera estrés a la planta. Para que no lo sufra demasiado y no pierda energía en el proceso de adaptación/recuperación, hay que:

1. Preparar bien la cama, con la doble o simple excavación, abonarla e incorporar la composta y los fertilizantes orgánicos (efluente) los primeros 10 centímetros de la capa del suelo, con el uso del cultivador largo.
2. Regarla un poco, de preferencia tres días antes.
3. Realizar el trasplante por la tarde, cuando hace menos calor, para que por la noche la planta pueda recuperarse.
4. Tocar lo menos posible la planta, hacerlo con delicadeza y no manipular las raíces.

Para el trasplante ocupamos la tabla que utilizamos en el doble excavado, la cuchara para trasplante, el cultivador, el trinche y una varita con la medida de la distancia adecuada entre planta y planta. El trasplante se hace de la siguiente forma:

1. Colocamos la tabla en la cama, la cual se recorre conforme se avance en el trasplante.

2. Con la varita se hace unos pequeños agujeros y trazamos en forma de triángulo ("tresbolillo") la distancia entre planta y planta.
3. Con el trinche sacamos cuidadosamente la plántula del almácigo y con la cuchara de trasplante en el agujero marcado abrimos el suelo, colocamos la planta hasta las dos primeras hojitas, también conocidas como hojas falsas o cotiledones, y tapamos.
4. Conforme avanzamos, con el cultivador aflojamos la tierra que se compactó por el peso y el de la tabla.
5. Después del trasplante regamos durante cinco minutos. Se usa la malla sombra los primeros 15 días y regar a diario para que las plantas se recuperen del estrés y comiencen a crecer saludables.

## **CUIDADOS DE LA HUERTA ORGÁNICA**

En la huerta es necesario realizar constantemente las siguientes actividades o labores culturales, para garantizar un buen desarrollo de las hortalizas:

- a) Riego: En épocas secas o días con mucho sol, las hortalizas requieren mayor cantidad de agua, sobre todo las plantas recién nacidas. Se debe regar en la mañana o en la tarde, cuando el sol ya no es tan fuerte y siempre por debajo de las hojas.
- b) Desyerbar: Se debe realizar periódicamente para evitar la competencia entre malezas y hortalizas por luz, agua, nutrientes y espacio. Especialmente cuando las hortalizas todavía son pequeñas el deshierbe constante es importante. Las malezas se deben sacar antes de tener semillas y hay que tener cuidado de sacar también la raíz, para que no crezca nuevamente.
- c) Cuando las plantitas empiezan a crecer y quedan demasiado amontonadas se debe sacar las plantas menos desarrolladas hasta que exista suficiente espacio entre una y otra. El raleo debe ser aplicado lo más temprano posible para que beneficie el crecimiento de las plantas.
- d) Aflojamiento: Se debe aflojar la tierra para que las plantas puedan respirar, el agua pueda filtrarse y el terreno no se encharque.
- e) Tutoraje: Algunas hortalizas como el tomate, arveja o pepino, tienen tallos y ramas frágiles y suelen crecer por el suelo o se pueden quebrar por el peso de sus frutos, para ello se amarra las plantas a estacas, caballetes o hilos de alambre o cuerda.

## **CONTROL DE PLAGAS, ENFERMEDADES Y MALEZAS**

El combate a las plagas, enfermedades y malezas en la huerta orgánica se logra a través de la prevención y el control biológico, que es una forma de mantener el equilibrio entre insectos plagas e insectos benéficos.

El control directo o químico es adicional y solamente con remedios naturales, sin embargo, cabe mencionar que el objetivo de combatir los "bichos malos" y las malezas no es eliminarlos, pues son especies que cumplen un



papel importante dentro del ecosistema, se trata de regular la cantidad de individuos y evitar que pongan en peligro a la cosecha. Consultar Tabla A.8 del anexo

Los siguientes puntos son claves para prevenir y controlar las plagas, enfermedades y malezas:

- Fertilizar el suelo
- Seleccionar hortalizas adaptados al clima de la región
- No sembrar o plantar muy tupido ni muy ralo
- Incluir plantas repelentes y aromáticas
- Aplicar la rotación de cultivos
- Eliminar las plantas enfermas o las partes dañadas
- Usar semillas de buena calidad
- Trasplantar solamente plantas fuertes y sanas
- Desinfectar el suelo
- Mantener el suelo cubierto para evitar las malezas
- Desyerbar

La presencia de plagas, enfermedades y malezas es signo de desequilibrio biológico del suelo y del ambiente Natural.

## **PLAGA**

Son seres vivos que se pueden ver a simple vista, causan graves daños a los cultivos porque atacan a las plantas para alimentarse. Algunos chupan la savia de la planta, otros comen las partes sólidas, como por ejemplo las hojas, tubérculos, etc.

## **ENFERMEDAD**

Son microorganismos que atacan cualquier parte de la planta y no se les puede ver a simple vista. Como los hongos, los virus y las bacterias. Cuando éstos microorganismos atacan a la planta, esta se da por perdida porque el causante ya se ha desarrollado y reproducido dentro de ella. Los síntomas pueden ser pústulas, agallas y tumores (bacterias), decoloraciones, manchas y pulverulencias de color blanco, gris, rojo, café o negro (hongos) y deformaciones o encrespamiento de las hojas (virus).

## **MALEZA**

Se considera una maleza a cualquier planta que crece donde no se la desee. Las malezas son problemáticas cuando son muy abundantes porque compiten con las hortalizas por espacio, luz, agua y nutrientes; esto puede disminuir la producción de la huerta, además pueden transmitir enfermedades y proliferar plagas.

## **CONTROL BIOLÓGICO**

El control biológico consiste principalmente en mantener el equilibrio biológico de la huerta, lo cual se logra incrementando la diversidad de hortalizas, plantas repelentes, plantas aromáticas y plantas que sean hospederos para insectos benéficos e incluso insectos plagas. Esto favorece a la diversidad de "bichos" que ayudan a mantener el equilibrio biológico de la huerta y promueve el desarrollo de los enemigos naturales evitando así la utilización de químicos. Consultar Tabla A.8 del anexo.

Se incluye un anexo, que contiene una serie de tablas las cuales hacen referencia a:

Distancia de cultivos ideales de leguminosas y hortalizas, plantas compatibles e incompatibles, temperatura de cultivos, usos de semillas, control de plagas, asociación y rotación de cultivos (Jeavons, 2002).

### **5.4 RESUMEN DE APLICACIÓN Y USO DEL EFLUENTE**

Se deben realizar las aplicaciones del efluente en la etapa pre-siembra, preferentemente durante la preparación del terreno, hacer lo posible para aplicar el efluente de una forma homogénea (agitando el efluente antes de aplicarlo y buscar formas de aplicar láminas iguales de efluente).

#### **FORMAS DE APLICACIÓN:**

Efluente líquido: Presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente saliendo del digestor, o almacenarse en tanques tapados por un periodo no mayor a 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.

Efluente compost: Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde (desechos de forraje, etc.) y realizar el compostaje, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30% al 70%, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte y aplicación.

Efluente seco: El resultado del secado es una pérdida casi total del nitrógeno orgánico (cerca del 90%), lo que equivale al 5 % del nitrógeno total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado, este procedimiento se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o la distancia a cultivos sea larga y difícil.

### **5.5 BENEFICIOS SOCIALES AMBIENTALES Y ECONÓMICOS A LA COMUNIDAD DE CIUDAD UNIVERSITARIA**

Los sistemas de digestión pueden generar una gran mejoría en el desarrollo de las comunidades que los implementen. Los beneficios que se producen con la degradación anaerobia son a nivel económico, ambiental y social; entre estos beneficios están:

- Aumento de las condiciones higiénicas y de salud: reduce los patógenos; reduce la transmisión de enfermedades por mala disposición de los residuos; evita los problemas gastrointestinales por reducción de contaminación en las aguas residuales.
- Económicamente el hecho de tener una población más sana implica un mayor desarrollo; la nutrición puede incrementar por la disponibilidad de energía y el mayor rendimiento de los huertos orgánicos.
- La sustitución de energía y/o calor que se realiza con el uso de biogás genera una disminución en los costos de producción y facilita la capacidad de inversión en diferentes áreas de una empresa.
- La instalación de sistemas del digestor da lugar a la creación de fuentes de empleo local, por nuevas necesidades de construcción y mantenimiento, así como de aprovechamiento del biogás y del fertilizante.
- El efluente de los digestores es un excelente biofertilizante que se puede aplicar a los cultivos, promoviendo la agricultura orgánica y la disminución del uso de agroquímicos.
- El uso de biogás disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y la biomasa, lo cual se traduce en reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global.
- La tecnología utilizada para la producción de biogás permite el tratamiento de las aguas residuales mejorando la calidad en las descargas, lo que disminuye la contaminación del recurso hídrico y reduce el impacto negativo a la biodiversidad existente en los cuerpos receptores.
- Permite incrementar el rendimiento de las cosechas o huertos, con el empleo del lodo que se extrae del digestor (biofertilizante), después del proceso de fermentación y producción de biogás.
- Se logran una reducción en consumo energético y de fertilizantes químicos, con una integración total de los recursos aprovechables, dentro del ciclo productivo y social.
- Los efluentes son productos reciclados, cuya aplicación no reduce la cantidad de ningún recurso no renovable.
- En cuanto al aspecto sanitario, el tratamiento anaerobio de los desechos orgánicos elimina su acumulación en el ambiente y consecuentemente reduce la proliferación de moscas, mosquitos y roedores portadores de enfermedades peligrosas. También funciona como tratamiento correctivo de la acidez de los suelos y como aditivo orgánico en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES

1. La generación de energía y la producción de efluente son posibles de obtener mediante el proceso de digestión.
2. Es posible la producción de efluente por digestión en un tiempo de 16 a 18 días, lapso en el que ocurren dos procesos fundamentales.
  - Se alcanza la mayor mineralización de nitrógeno.
  - Se logra la eliminación de todos los parásitos, hongos y bacterias patógenas.

De esta manera se garantiza el uso del efluente con buenas propiedades biofertilizantes y salvaguardando la salud de usuarios.

3. El uso de RSU provenientes de restaurantes, está originalmente libre de metales, antibióticos, medicinas y otros contaminantes potencialmente dañinos y que requieren de un tratamiento adicional; por tanto el efluente estará libre de estos agentes. La materia que se agrega para el balance de C: N se debe elegir con cuidado para limitar la contaminación bacteriológica.
4. El uso del efluente del digestor cierra en forma natural el ciclo de los nutrientes tierra-plantas-consumidor-tierra, en lugar de que los nutrientes se pierdan en un sitio de disposición final. Asimismo el tratamiento de los RSU. en un digestor reduce el volumen dispuesto en los rellenos sanitarios, y los costos asociados con el transporte y operación.
5. El aplicar la tecnología de sistemas anaerobios para la degradación de los desechos orgánicos abre las puertas hacia un futuro más verde y ecológico, de tal forma que cuidamos el medio ambiente y a su vez generamos en la comunidad la conciencia de separar los residuos orgánicos, a la vez que transmitimos el conocimiento de que dichos desperdicios no son basura, sino una fuente de energía reusable la cual brinda beneficios notables, destacando sobre todo que se minimiza el impacto ambiental, creando un ambiente limpio, sano, libre de agentes patógenos, menos fauna nociva. Con este método garantizamos aprovechar al máximo los recursos naturales, lo cual nos permite ahorrar energía, disminuir costos y contribuir a la protección del medio ambiente.

## ANEXO : TABLAS PARA EL CULTIVO DE HORTALIZAS ORGÁNICAS

Tabla A. 1 Plantas compatibles e incompatibles (Jeavons, 2002)

Nombre	Compatibles	Incompatibles
Ajo y cebolla	Betabel, fresa, jitomate, lechuga	Leguminosas (frijol, ejote, chícharo)
Apio	Puerro o poro, frijol de mata, jitomate, coliflor, col, brócoli	No aplica
Berenjena	Frijol, papa	No aplica
Betabel	Cebolla	Frijol de guía
Calabaza	Maíz	Papa
Cebollín	Zanahoria, jitomate	Chícharo, frijol
Col- familia (col, coliflor)	Plantas aromáticas, papa, apio, eneldo, manzanilla, salvia, menta, romero, betabel, cebolla	Fresa, jitomate, frijol de guía
Chícharo	Zanahoria, nabo, rábano, pepino, maíz, frijol, la mayoría de las plantas aromáticas	Cebolla, ajo, gladiola, papa, cebollín
Espárrago	jitomate, perejil, albahaca	No aplica
Espinaca	Fresa	No aplica
Frijol	Papa, zanahoria, pepino, coliflor, col, ajedrea, la mayoría de las plantas aromáticas	Cebolla, ajo, gladiola, papa, cebollín
Fresa	Frijol de mata, espinaca, borraja, lechuga, cebolla	Col
Frijol de guía	Maíz, ajedrea, girasol	Cebolla, betabel, col
Frijol de mata	Papa, pepino, maíz, fresa, apio, ajedrea	Cebolla
Girasol	Pepino	Papa
Jitomate	Cebollín, cebolla, perejil, espárrago, cempasúchil, capuchina (mastuerzo), zanahoria	Col, papa, hinojo
Lechuga	Zanahoria, rábano, fresa, pepino, cebolla	No aplica
Maíz	Papa, chícharo, frijol, pepino, calabaza de castilla, calabaza	No aplica
Nabo	Chícharo	No aplica
Papa	Frijol, maíz, col, rábano	Calabaza de castilla, calabaza, pepino, jitomate, frambuesa
Pepino	Frijol, maíz, chícharo, rábano, girasol, lechuga	Papa, plantas aromáticas
Perejil	Jitomate, espárrago	No aplica
Puerro o poro	Cebolla, apio, zanahoria	No aplica
Rábano	chícharo, capuchina, lechuga, pepino	No aplica
Soya	Crece junto a cualquier planta y ayuda a todo	No aplica
Zanahoria	Chícharo, lechuga orejona, cebollín, cebolla, puerro o poro, romero, salvia	Eneldo

Tabla A. 2 Distancias ideales de algunas hortalizas (Jeavons, 2002)

planta	Distancia entre plantas (centímetros en la cama de cultivo)	Distancia de siembra en el primer almácigo ( en centímetros al voleo)	Semanas en el primer almácigo	Distancia de siembra en el segundo almácigo ( en centímetros)	Semanas en el segundo almácigo	Semanas hasta la madurez (aproximado)
Acelga	20	2.5	3-4	-	-	7-8
Ajo	10	se siembran dientes directo en la cama				17-44
Albahaca	15	al voleo	1-2	3.8	3	6-8
Apio	15	al voleo	4-6	2.5	4-6	12-16
Berenjena	46	2.5	5-6	5	3-4	10-11
Betabel	10	2.5	3-4	-	-	-
Brócoli	38	2.5				8-9
Calabacita	45	5	3-4	-	-	7-9
Calabaza	45 / 70	5	3-4	-	-	14-16
Camote	22.5 (más 22.85 de profundidad)	se siembran los cortes con un mínimo de dos botes directos en la cama				13-17
Cebolla	10	al voleo	6-8	-	-	14-17
Chicharo guía	10	2.5	1-2	-	-	10-11
Chicharo mata	7.5	2.5	1-2	-	-	8-10
Col	30/38/45	2.5	3-4	5	5-6	9-16
Col de Bruselas	45	2.5	3-4	5	5-6	11-13
Coliflor	38	2.5	3-4	5	-	8-12
Espinaca	15	2.5	3-4	-	-	6-7
Frijol ejotero guía	15	2.5	1-2	-	-	8-9
Frijol ejotero mata	15	2.5	1-2	-	3-4	8
Jitomate	46/56/61	2.5	4-6	5	2-3	8-13
Lechuga romana	30	al voleo	1-2	3.8	2-3	11-13
Lechuga orejona	20 invierno, 22.5 primavera otoño	al voleo	1-2	3.8	3	6-12
Melón	38	5	3-4	-	-	12-17
Papa	22.5 (más 22.5 de profundidad)	se siembran los cortes con un mínimo de dos botes directo en la cama				9-17
Pepino	30	2	3-4	-	-	7-10
Perejil	12.5	al voleo	2-3	5	6-8	10-13
Chile	30	2.5	2-3	5	5-7	9-11
Pimiento	30	2.5	2-3	5	5-7	9-12
Poro (puerro)	15	al voleo	8-12	-	-	19
Rábano	5	se siembran dientes directo en la cama				3-9
Remolacha	17.5	2.5	3-4	-	-	8-12
Sandia	30/46/53	5	3-4	-	-	10-13
Zanahoria	7.5	al voleo	3-4	-	-	9-11

Tabla A. 3 Distancias ideales de leguminosas, cereales y oleaginosas (Jeavons, 2002)

Planta	Distancia entre plantas (centímetros en la cama de cultivo)	Distancia de siembra en el primer almácigo ( en centímetros al voleo)	Semanas en el primer almácigo	Distancia de siembra en el segundo almácigo ( en centímetros)	Semanas en el segundo almácigo	Semanas hasta la madurez (aproximado)
Amaranto	Follaje 15 semilla 30	al voleo	1	3	3	Follaje 6 semilla 12
Avena	12.6	2.5	1-2	-	-	13-17
Cacahuete	22.4	5.0	2-4	-	-	17
Cebada	12.5	2.5	1-2	-	-	9-10
Centeno	12.5	2.5	1-2	-	-	17
Frijol	15.0	2.5	1-2	-	-	12
Garbanzo	10.0	2.5	1-2	-	-	9
Girasol	Follaje 23.0 semilla 61.0	2.3	2-3	-	-	12
Haba	15.0	2.5	2	-	-	13-17
Lenteja	10.0	2.5	1-2	-	-	12
Maíz	37.5	2.5	3-5 días	-	-	11-16
Mijo	17.5	2.5	2-4	-	-	10-13
Quinoa	30.0	al voleo	1	3.7	3	16
Ajonjolí	15.0	al voleo	3	-	-	13-17
Sorgo	18.0	2.5	2-3	-	-	13
Soya	15.0	2.5	2	-	-	16-17
Trigo	12.5	2.5	1-2	-	-	16-20

Tabla A. 4 Familias para la asociación y rotación de cultivos (Jeavons, 2002)

Remolacha, remolacha forrajera, espinaca, acelga, orzaga, quínoa	Zanahoria, apio, perejil, hinojo, cilantro	Lechuga, escarola, girasol, salsifí, alcachofa, cardo santo, pataca
Cebolla (Aliáceas)	Pasto (Gramíneas)	Tabaco (Solanáceas)
Ajo, cebolla, puerro, poro, cebollines	Maíz, arroz, cebada, trigo, avena, centeno, mijo, sorgo	Jitomate, papa, ají, chile, pimienta, berenjena
Chícharo (Leguminosa)	Calabaza (Cucurbitáceas)	Col (Crucíferas-Brassicas)
Frijol, chícharo, haba, habichuela, ejote, lenteja, soya, garbanzo, cacahuete, jícama	Pepino, calabaza, melón, sandía, calabazas gigantes, calabacita, chilacayote	Brócoli, col, coliflor, colinabo, col rizada, berza, rábano, nabo, apio
Menta (Labias)	Campanilla (convolvuláceas)	Malva (Malváceas)
Albahaca, hierbabuena, romero	Camote	Okra o quimbombó
Amaranto (Amarantáceas)	Liliáceas (Liliáceas)	Trigo (Gramíneas)
amaranto, quelite	Espárrago	Trigo, ruibarbo, triticale, pastos

Tabla A. 5 Temperaturas adecuadas del suelo para la germinación de semillas de algunas hortalizas (Jeavons, 2002)

Planta	Mínima °C	Rango óptimo	Óptimo °C	Máxima °C
Acelga	4	10-30	30	35
Apio	4	5.5-21	21	30
Berenjena	15.5	24-32	30	35
Betabel	4	10-30	30	35
Calabacita	15.5	21-35	35	38
Calabaza de Castilla	15.5	21-32	35	38
Cebolla	2	10-35	24	35
Col	4	7-35	30	38
Coliflor	4	7-30	26.4	38
chícharos	4	4-24	24	30
chirivía	2	10-21	18	30
Ejote	5.5	15.5-30	26.5	35
Espárrago	10	15-30	24	35
Espinaca	2	7-24	21	30
Frijol Ayocote	15.5	18-30	30	30
Jitomate	10	15.5-30	30	35
Lechuga	2	4-26.5	24	30
Maíz	10	15.5-35	35	40.5
Melón	15.5	24-35	32	38
Nabo	4	15.5-40.5	30	40.5
Ocra	15.5	21-35	35	40.5
Pepino	15.5	15.5-35	35	40.5
Perejil	4	10-30	24	32
Pimiento	15.5	18-35	30	35
Rábano	4	7-32	30	35
Sandia	15.5	21-35	35	40.5
Zanahoria	4	7-30	26.5	35



Tabla A. 6 Rangos de temperatura óptimos para el crecimiento de algunos cultivos (Jeavons, 2002)

Temporada de cultivo	Rango de temperatura (°c)	Rango óptimo de temperatura (°c)	planta
Cultivos de temporada fría	cero		Espárrago, ruibarbo
	5-24	15.5-18	Acedera, acelga, berza, betabel, brócoli, col, colecitas de Bruselas, colinabo, chirivía, espinaca, ejote, ancho, nabo, rábano
	7-24	15.5-18	Achicoria, alcachofa, apio, coliflor, col china, chícharo, hinojo, lechuga, mostaza, papa, perejil, zanahoria, lechuga escarola
	7-29	13-24	Ajo, cebolla, cebollín, echalote, poro, salsifí
Cultivos de temporada templada	10-26.5	15.5-21	Frijol, frijol ayocote
	10-35	15.5-24	Maíz, caupí, espinaca de Nueva Zelanda
	10-32	18-24	Calabacita, calabaza de Castilla
	15.5-32	18-24	Melón, pepino
Cultivos de temporada cálida	18-29	21-24	Jitomate, pimiento dulce
	18-35	21-29	Berenjena, camote, oca, pimiento, sandia, chile

Tabla A. 7 Desventajas del uso de semillas híbridas vs ventajas del uso de semillas de polinización abierta (Jeavons, 2002)

Semillas Híbridas	Semillas de polinización abierta
Comprar las semillas crea dependencia	Se producen y crea independencia
Requieren fertilizantes y pesticidas	Usar composta y abonos orgánicos
Necesitan mucha agua	Se necesita menos agua
Las semillas que producen no se sabe en qué planta se convertirán	Las semillas que producen se convertirán en la misma clase de planta
No se pueden reproducir	El proceso de producción de semillas es natural
Se puede guardar la semilla, pero su casta no es fiel	Se conservan e intercambian las semillas
Son más vulnerables, menos tolerantes	Son más resistentes
No tienen experiencia, es decir, su genética no tiene memoria para la adaptación	Están adaptadas a nuestra región, tienen experiencia genética para acondicionarse a la diversidad de fenómenos de clima y suelo
Privilegian unas cuantas variedades	Preservan la diversidad genética

Tabla A. 8 Insectos dañinos y plantas útiles para su control (Jeavons, 2002)

Plaga de insectos	Plantas para su control
Áfido	Mastuerzo (capuchina), hierbabuena, ortiga, abrótnano, ajo
Áfido lanudo	Mastuerzo (capuchina)
Babosa	Acolchado de hoja de roble, casca
Chinche de la calabaza	Mastuerzo
Chinche de la papa	Lino, berenjena, cempasúchil
Conchuela de frijol	Papa
Escarabajo de la papa	Berenjena, Lino, ejote, cempasúchil
Escarabajo japonés	Geranio blanco, datura
Escarabajo pulga	Ajenjo, menta
Escarabajo rayado	Rábano
Gorgojo	Ajo
Gorgojo de junio	Acolchado de hoja de roble, casca
Gusano en las cabras	Zanahoria
gusano en los caballos	hojas de hierba lombriguera, poleo
Mariposa de la col	Salvia, romero, hisopo, tornillo, menta, ajeno, abrótnano
Mosca	Nogales, ruda, hierba lombriguera, aspersiones de ajeno, jitomate
Mosca negra	Cultivos intercalados, ortiga
Mosquito	Leguminosas
Mosquito de la malaria	Ajeno abrótnano, romero
Palomillas	Salvia, santonilla, lavanda, menta, ortiga
Piojo	Ricino, azafrán, poleo

## REFERENCIAS

Álvarez, A. 2004. Producción anaeróbica de biogás, aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico. Publicación del Instituto de Investigaciones en Procesos Químicos. Bolivia, La Paz.

CEMAT, 1977. Planta de biogás a pequeña escala de la India. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian. Publicación de Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada. Munger Foundation. Guatemala, Guatemala.

GTZ, 1999. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GFA-Infrastruktur und Umweltschutz, Ingeniurgemeinschaft Witsenhausun Fricke y Turk. Utilisation of organic waste in (peri-) urban centres. Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Cesar, E. y Medina, A. 2010. Estudio diagnóstico del sistema de manejo de residuos sólidos urbanos en Ciudad Universitaria y plan de manejo integral en el casco central. México, D.F.

Espinosa, R. 1985. Estudio valorativo del establecimiento de huertos familiares en hidroponía bajo invernadero. Publicación de la Universidad Autónoma Nacional de Chapingo. México, D.F.

Galván, Q. R. 1984. Evaluación del efecto de la aplicación del efluente de un fermentador anaeróbico para estiércol vacuno sobre el comportamiento de un trigo de invierno. Tesis Profesional. Depto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.

González, Z. H. 1986. Proyecto Tecnológico del Uso de un digester como Planta para la Explotación de una Granja Porcina. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Guardado, J. A. 2006. Tecnología del biogás, Manual de usuario. Editorial CUBASOLAR. Cuba, La Habana.

Huerta-Gallegos, N. 2010. Degradación Anaerobia de Residuos de Restaurantes de Ciudad Universitaria. Tesis de licenciatura de ingeniería Eléctrico – Electrónico. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México D.F.

Instituto Benson, 1999. El cultivo del huerto. Instituto de agricultura y ciencias “Erza Taff Benson”. Riotte L. Cultivo de huerto pequeño. Una guía para la horticultura intensiva. CECSA. México, D.F.

Iturbide, G. y Gómez, F. 1986. Cultivo del amaranto en México. Publicación de la Universidad Autónoma de Chapingo. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No. 12. México. Pg 245.

Jeavons, J. 2002. Cultivo biointensivo de alimentos. Publicación de Cultive Biointensivamente. Sexta edición, Ecology Action, Willits, California, Estados Unidos, Ten Speed Press.

Lobos, C. 1999. Química Analítica. Universidad Técnica Federico Santa María Sede. Chile, Viña del Mar.

Luna, G.L. 2001. Producción, uso y manejo de bioestimulantes, abonos orgánicos, acondicionadores y biofertilizantes a partir de fuentes no convencionales. Colombia, Cundinamarca,.

Mandujano, M. I. 1981. Biogás: energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.

Sánchez, C. 2003. Abonos orgánicos y lombricultura. Ediciones ripalme. Lima, Perú.

Sancho y Cervera, J. y Rosiles, G. 1999. Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. SEDESOL, México, D.F.

SEGEM/GTZ, 2000. Estudio de generación y caracterización de residuos sólidos municipales. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México. Estado de México, México.

SEMARNAT, 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario oficial del 08.10.2003.

SUQUILANDA, V.M. 1996 Agricultura Orgánica, Alternativa tecnológica del futuro. Quito, Ecuador.

Soubes, M. 1994. Biotecnología de la digestión anaerobia. III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.

EPA, 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Publicación de U.S. Environment Protection Agency EPA530-R-99-009.

Zamora, F., Salcedo, E., Aguayo, A. 1999. Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz. Memorias del VII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y del IV Congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería. Huatulco, Oaxaca, México.