

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Autoabastecimiento Energético por medio de Fuentes Alternativas y Renovables en una Comunidad Rural Tipo.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Biólogo

PRESENTA

Radaid Saúl Esparza Isunza

DIRECTOR DE TESIS:

Tristan **Edmundo** Esparza Isunza

MÉXICO, D.F.

2000

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



278441



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

"Autoabastecimiento energético por medio de fuentes alternativas y renovables en una comunidad rural tipo"

realizado por Radaid Saúl Esparza Isunza

con número de cuenta 7107279-1, pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Ing. Quím. Tristán Esparza Isunza

Propietario M. en I. Raúl Lugo Leyte

Propietario Dr. en E. Zenón Cano Santana

Suplente M. en I. Alberto Valdés Palacios

Suplente M. en I. Enrique Barrera Calva

Consejo Departamental de Biología
Dr. Edna María Suárez Díaz
Coordinadora de la Licenciatura en Biología

CONTENIDO

I) INTRODUCCIÓN	4
1. 1) PLANTEAMIENTO	4
1. 2) JUSTIFICACIÓN	4
1. 3) FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA	6
1. 3. 1) La Energía Eólica o del Viento	6
a) Movimientos de las Masas de Aire	6
b) Mecanismos y Tecnologías de Conversión de la Energía Eólica	9
c) Ventajas y Aplicaciones	11
1. 3. 2) La Energía Solar	12
a) Insolación y Destilación del Agua	13
b) Energía Solar y Conversión Fotovoltaica	13
c) Mecanismos y Tecnologías de Conversión de la Energía Solar	14
1. 3. 3) La Biomasa	16
II) OBJETIVOS	16
III) MÉTODOS	17
IV) EL RECURSO BIOMASA Y SU VARIABILIDAD	19
4. 1) RECURSOS FORESTALES	27
4. 2) RECURSOS AGRÍCOLAS	27
4. 3) RECURSOS ANIMALES Y URBANOS	28
4. 4) RECURSOS INDUSTRIALES	28
4. 5) RECURSOS MARINOS	28

V) PROCESOS Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DE BIOMASA	29
5. 1) RELACIÓN ENTRE FUENTE ENERGÉTICA Y USO FINAL	29
5. 2) PROCESOS Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA	29
5. 2. 1) Procesos de Conversión Bioquímicos	32
5. 2. 2) Procesos de Conversión Termoquímicos	35
5. 2. 3) Tecnologías de Conversión Energética de la Biomasa	37
VI) EL RECURSO BIOMÁSICO MEXICANO	40
6. 1) PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL	40
6. 2) EL POTENCIAL BIOMÁSICO DE MÉXICO	41
6. 2. 1) Recursos de Origen Forestal	42
6. 2. 2) Recursos de Origen Agrícola	43
6. 2. 3) Recursos de Origen Animal	46
6. 2. 4) Recursos de Origen Urbano	48
6. 2. 5) Recursos de Origen Marino	56
VII) PROPUESTA DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN UNA COMUNIDAD RURAL TIPO	59
7. 1) SITIO DE ESTUDIO	59
7. 1. 1) Actividades Económicas	59
7. 1. 2) Condiciones Sociales y Económicas	60
7. 1. 3) Caracterización de la Unidad Económicas	60
7. 1. 4) Clima	60
7. 2) OBJETIVOS DEL PROYECTO ESPECÍFICO DE LA ZONA RURAL	62
7. 3) ESTRUCTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	62
7. 4) MODELO ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA	63
7. 5) CUANTIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE POTENCIA	67

7.6) OFERTA DE BIOGAS Y CALCULO DEL BIODIGESTOR	75
7.6.1) Cálculo del Volumen del Biodigestor	76
7.6.2) Cálculo del Flujo Volumétrico de Residuos	77
7.6.3) Cálculo del Tiempo de Retención	77
7.6.4) Algunos Aspectos de Diseño del Biodigestor	78
7.7) ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO RURAL	79
7.7.1) COSTOS DEL BIODIGESTOR	79
7.7.2) COSTO DE LA ALTERNATIVA DE CONECTARSE A LA RED ELÉCTRICA	80
VIII) DISCUSIÓN	81
IX) BIBLIOGRAFÍA	83
X) APÉNDICES	88

I] INTRODUCCIÓN.

1. 1) PLANTEAMIENTO.

Este trabajo analiza los requerimientos energéticos que el ser humano tiene que solventar, así como los fenómenos de impacto al medio ambiente que genera la explotación del mismo por el continuo incremento de las necesidades energéticas de las comunidades rurales. Por estas razones también aborda las cuestiones siguientes:

En primer lugar, presenta una serie de objetivos y metas que pretenden mostrar la viabilidad de un abastecimiento autosuficiente de energía a partir de fuentes energéticas alternativas, renovables (no convencionales) y limpias, es decir, cuyo efecto sobre el medio no se traduce en deterioro o degradación del entorno biológico ni social.

En segundo lugar, realiza un recuento de fuentes energéticas no convencionales tales como los recursos biomásico, eólico y solar, haciendo particular énfasis en el primero y mostrando además, los procesos y tecnologías de la conversión energética de todos ellos.

Por último, trata sobre la utilización de los recursos biomásicos en una comunidad rural típica en México, tomando consideraciones de carácter técnico y económico con objeto de mostrar su viabilidad en las comunidades rurales.

1. 2) JUSTIFICACIÓN.

Esta tesis se justifica en varios niveles de su desarrollo, el primero y que resulta el más obvio y urgente, es la evidente necesidad de incorporar a miles de comunidades rurales en América Latina y en particular en nuestro país, al desarrollo y bienestar sociales participando así en la solución de uno de los problemas más acuciantes de nuestro tiempo: la creciente migración campesina a las ciudades en busca de alternativas económicas y sociales.

En segundo lugar, la amplia variedad de recursos biomásicos y su constante disponibilidad en el medio rural, la convierten en un recurso ideal que, mediante un apropiado y eficiente tratamiento tecnológico y a través de la conversión energética correspondiente, permitiría en gran medida la autosuficiencia de energía de los pueblos.

Además, según Hall y colaboradores (1982), la biomasa tiene relevantes ventajas como fuente de energía: es renovable, relativamente barata y almacenable, y el rol que actualmente juega en el suministro mundial energético es cada vez más destacado (14% del consumo mundial a partir de este recurso).

Por estas y otras razones que se exponen en este trabajo y que posteriormente se ampliarán, es que el recurso biomásico se ha elegido como fuente energética potencial de estas comunidades. También se consideran los recursos naturales que son denominados aquí como fuentes de energía alternativa y renovables tales como la energía eólica y la solar que, por su implementación y desarrollo técnico actual, hacen factible un suministro energético significativo.

Por último, se abordan consideraciones técnicas y conceptuales que en apariencia no corresponden de manera directa al quehacer específico de un biólogo, y que en cambio competen más al ámbito de acción de un ingeniero agrónomo, en energía o industrial. Sin embargo, debe considerarse que la variada y multifacética actividad productiva humana y su consiguiente consumo energético, constituyen el generador de un gran impacto ambiental sobre y en la realidad biológica que es objeto de estudio del profesional de la Biología.

El Biólogo debe ser capaz de evaluar estas acciones que imponen restricciones y condiciones de cambio intenso y grave al balance energético del entorno biológico, cuya capacidad de respuesta a través de fenómenos específicos en algunos casos llegamos a prever, y en otros ni siquiera a imaginar.

Hechos tales como la contaminación del aire, agua y tierra (Turk y colaboradores, 1973); la erosión acelerada de suelos fértiles y boscosos por deforestación, la elevación de la temperatura promedio terrestre, el adelgazamiento de la capa de ozono y otros, hoy se revelan como acciones que a principios de siglo y durante el desarrollo de la industria y la tecnología, nunca se llegaron a sospechar.

Si un ecosistema se define como el desarrollo de un conjunto de organismos y sus relaciones con el medio ambiente físico, y en el cual la energía es transferida en una sucesión ordenada, unidireccional y cíclica cumpliendo las leyes de la Termodinámica (Cordourier A., 1984), entonces en la actualidad la presencia y acción de fenómenos producidos por la actividad humana, han originado cambios no solamente climatológicos de por sí ya serios, sino también profundas variaciones en la estructura cuantitativa y cualitativa de muchos ecosistemas, alterando gravemente la calidad de vida tanto del entorno biológico como del hombre.

Es por ello que el profesional de cualquier área y en especial de la Biología, debe concebir al entorno biológico en general, junto a la acción humana en particular, como un organismo vivo, dinámico e indivisible, en el que el desarrollo históricocultural tiene un papel preponderante y decisivo a nivel planetario.

De aquí que proyectos como éste, que consideran actividades diversas y que persiguen la explotación racional de fuentes energéticas alternativas y renovables como energías "limpias" e integradas al sistema ecológico rural, son de urgente necesidad no solo en su implementación y acción técnica y comercial específicas, sino también de una clara y sencilla divulgación pública en todos los ámbitos del quehacer social y cultural.

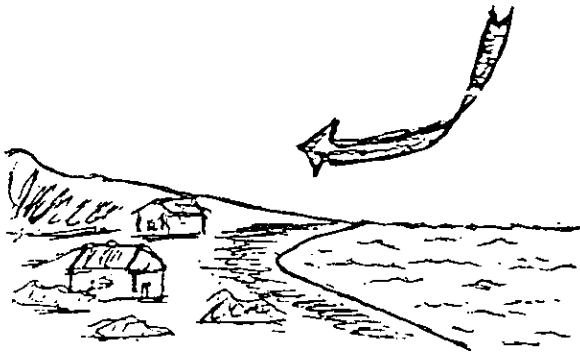
1.3) FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA.

Aguilera y colaboradores (1989) definen como fuentes alternativas de energía a aquellos recursos naturales de los que puede obtenerse energía mediante la tecnología adecuada, y cuyo uso resulta alternativo al de fuentes energéticas convencionales tales como el petróleo y sus derivados. Estas fuentes alternativas de energía son (a) la eólica, (b) la solar, y (c) la biomásica, las cuales se explican a continuación:

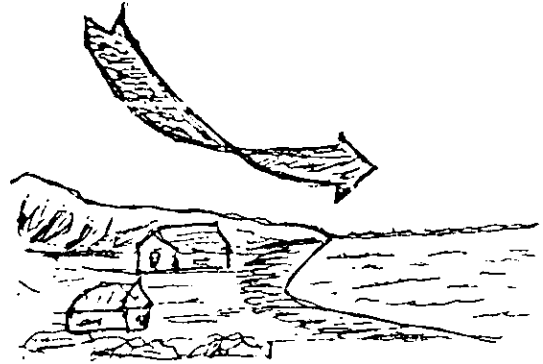
1.3.1) La Energía Eólica o del Viento.- El viento es una masa de aire en movimiento portadora en sí misma de una importante carga de energía cinética que, mediante la tecnología de conversión energética adecuada, es una fuente de energía útil para la obtención, por ejemplo, de agua por medio de bombeo eólico o de electricidad a partir de energía mecánica (Lopez B., 1985).

a) Movimientos de las masas de aire.- Los vientos se originan por la intervención y conjunción de diversos factores tales como la temperatura, el movimiento de rotación de la tierra, la humedad del aire, el relieve del terreno y la presión atmosférica (Longwell y Flint, 1974). De los anteriores el primero es el factor determinante a nivel global, ya que los gradientes de temperatura en zonas geográficas específicas, producen fenómenos de convección que originan movimientos ascendentes y horizontales de las masas de aire a nivel planetario (op. cit.).

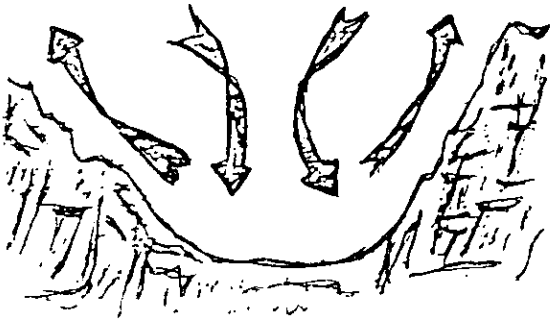
A nivel regional, el calentamiento de la superficie terrestre por acción de la energía solar, provoca un efecto ascendente en el aire localizado en el sector de tierra con respecto al estacionado sobre del mar. El aire caldeado al subir deja su lugar al más frío del mar, produciéndose brisas locales en la franja costera (Fig. 1. 1. a). Durante la noche, se produce el efecto contrario (Fig. 1. 1. b). Un estado similar se localiza en las laderas de las montañas, al viajar las masas de aire hacia los valles, para invertir el traslado durante el día (Figs. 1. 1. c y d).



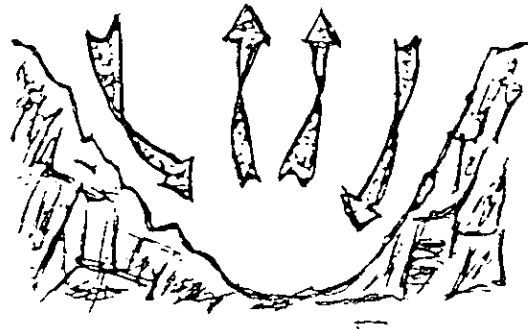
a) Brisa fresca del mar durante el día.



b) Brisa fresca de la tierra en la noche.



c) Brisa fresca desde el valle de día.



d) Brisa fresca desde la montaña de noche.

Fig. 1. 1. Movimiento regional de los vientos. (Basado en Longwell y Flint, 1974.)

A nivel planetario, el intenso calentamiento localizado en el ecuador terráqueo, superior al ocurrido en las zonas polares, causa una circulación de aire frío desde los polos hacia los trópicos, a efecto de ocupar el espacio desalojado por las masas de aire caliente, generado en la zona ecuatorial (Fig. 1. 2. a). La rotación de la tierra en torno a su eje y la variación de la posición de este a lo largo de las estaciones, causa cambios estacionales en la dirección de los vientos (Fig 1. 2. b) (op. cit.). Tal como se indicó anteriormente, estas masas de aire poseen una carga importante de energía cinética que se traduce en una cierta potencia, la cual puede cuantificarse en 10^{11} GWatts, teniendo como referencia que la capacidad de generación eléctrica por viento de un país como los Estados Unidos en el año de 1984 fue del orden de 188.1 GWatts (ENEA, 1985).

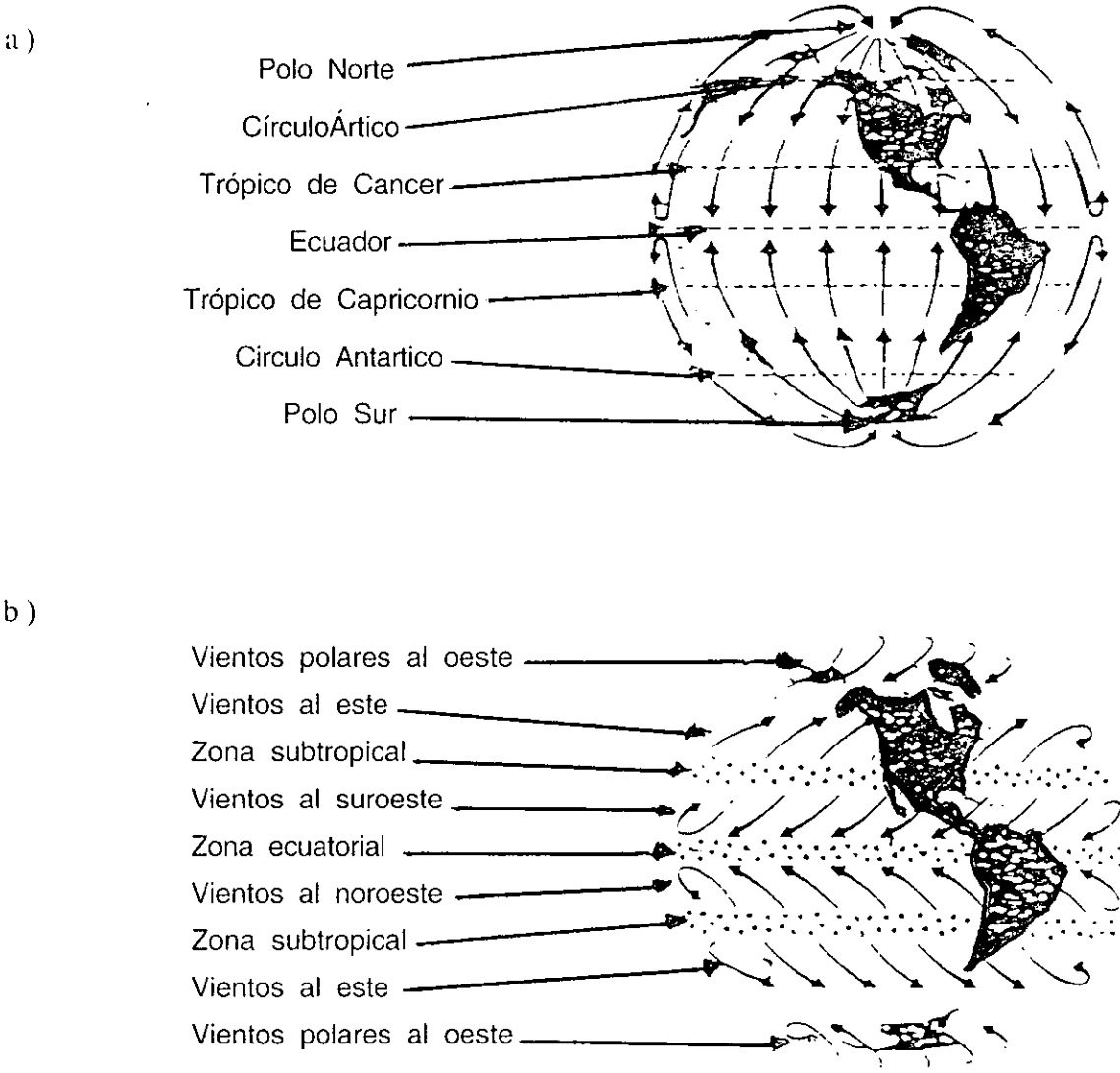
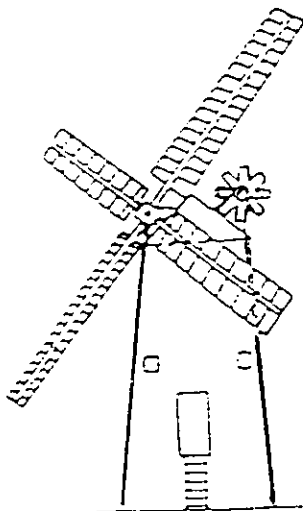


Fig. 1. 2. Dirección global de los vientos: (a) si la Tierra no rotara y (b) los que ocurren por el movimiento de rotación terrestre. (Tomado de ENEA, 1983.)

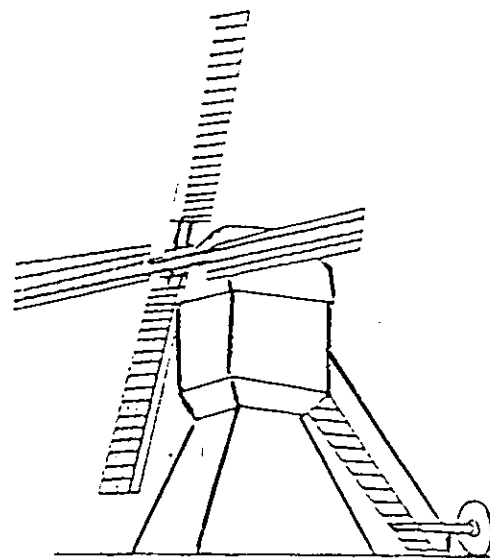
b) Mecanismos y Tecnologías de conversión de la Energía Eólica.- Los Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Alemania, la antigua Unión Soviética, Suecia y Dinamarca, han utilizado con intensidad diversos tipos de aeromáquinas para el bombeo de agua y la generación de electricidad (Guevara Luis, 1985). Si bien estas iniciativas sufrieron una retracción entre los años 1950 - 1973 a causa de los bajos costos de explotación mediante energéticos convencionales, la crisis petrolera de 1973 y los acontecimientos del Medio Oriente de 1979, nuevamente revitalizaron y trajeron a primer plano el interés por el uso de las aplicaciones eólicas (op. cit.). Hoy día, en México existen plantas piloto de conversión de energía eólica del Instituto de Investigaciones Eléctricas (I. I. E.) en el estado de Morelos.

Una aeromáquina es un dispositivo que permite la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica utilizable por el hombre. Consta básicamente de una hélice con un número variable de palas unida a un rotor cuyo eje de rotación, vertical u horizontal, se halla montado sobre una torre de soporte (DGPE, 1985)

Las aeromáquinas de rotor de eje horizontal tienen el eje de rotación paralelo a la superficie terrestre y en general a la dirección del viento. Un ejemplo son los molinos de viento clásicos que en Europa cubren la extensión de la costa Atlántica del Mar del Norte, del Mar Báltico y también del Mar Mediterráneo (Fig. 1. 3 a y b) (NSF - USA, 1975)



a) De techo giratorio



b) De cuerpo - máquina giratorio

Fig. 1. 3. Molinos de viento clásicos. (Tomado de NSF - USA, 1975.)

Otras aeromáquinas de eje horizontal son los llamados aeromotores lentos, que poseen un elevado número de palas en el rotor cubriendo casi la totalidad de la superficie de la rueda. La Fig. 1. 4 muestra un ejemplar de esta clase. Este tipo de máquinas ofrecen importantes servicios en regiones cuya velocidad de viento es del orden de 4 - 5 m/seg, en particular para el bombeo de agua (op. cit.)

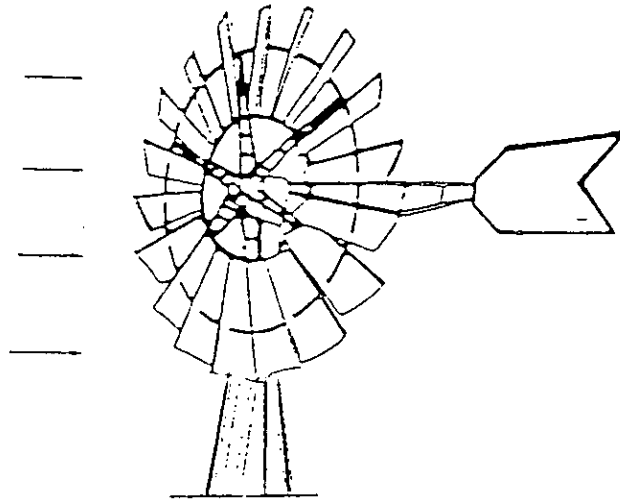
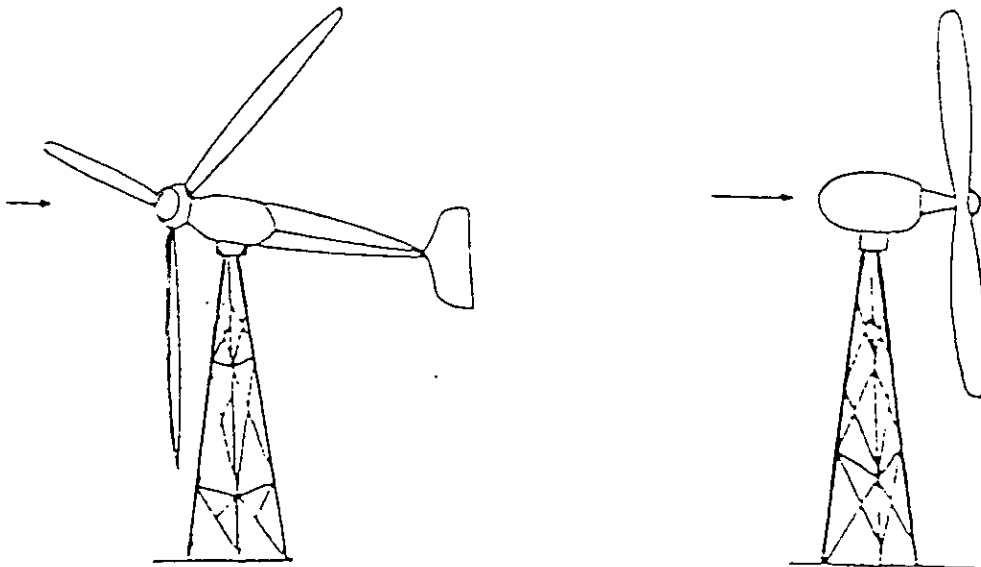


Fig. 1. 4. Aeromotor lento multipala. (Tomado de NSF - USA, 1975.)

De eje horizontal también son los aeromotores veloces que tienen un número limitado de palas y son más livianos que los aeromotores lentos (Fig. 1. 5. a y b) (op. cit.)



a) De tres palas con timón.

b) Bipala auto - orientable.

Fig. 1. 5. Aeromotores veloces. (Tomado de NSF - USA, 1975.)

Las aeromáquinas de rotor de eje vertical trabajan con el eje de giro perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento. De estas solo dos diseños han tenido un desarrollo apreciable: los rotores tipo Savonius (de acción diferencial) y los tipo Darrieus (de variación cíclica de la incidencia) cuyos diseños y características se observan en las Figs. 1. 6. y 1. 7, respectivamente (idem).

Características :

- ___ Autoarranque
- ___ Baja Velocidad
- ___ Baja Eficiencia

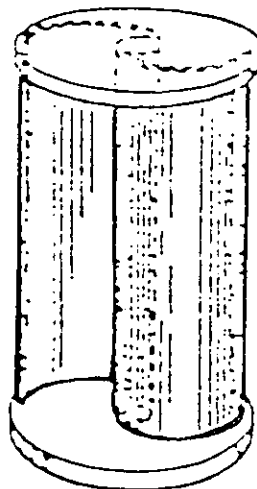


Figura 1. 6. Aeromáquina de rotor de eje vertical tipo Savonius. (Tomado de NSF - USA, 1975).

Características :

- ___ Sin autoarranque
- ___ Alta Velocidad
- ___ Alta Eficiencia
- ___ Bajo Costo Inicial

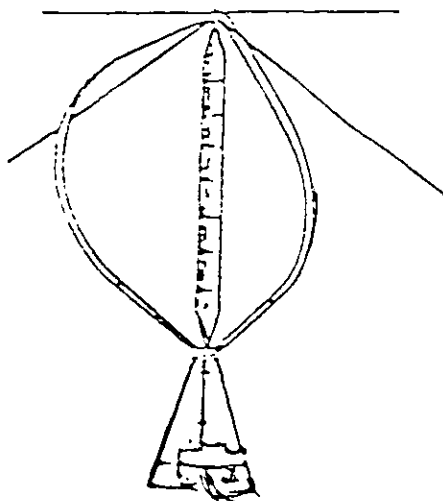


Figura 1. 7. Aeromáquina de rotor de eje vertical tipo Darrieus. (Tomado de NSF - USA, 1975.)

c) Ventajas y Aplicaciones .- Como ya se ha indicado, la energía extraída del viento es en un principio energía mecánica. Dada la variabilidad de la intensidad del viento, lo más atractivo resulta buscar sistemas que permitan almacenar la energía obtenida, para utilizarla posteriormente de manera regular. Con este fin, se ha difundido la utilización de tanques acumuladores de agua para sistemas de riego o de acumuladores eléctricos para el suministro de corriente continua, en zonas no conectadas a una red de este servicio.

Las ventajas de la energía eólica son: primero, que se ha desarrollado prácticamente en forma paralela con la humanidad y, segundo, que muchos de los habitantes del ámbito rural la cuentan como medio tradicional para la obtención de energía. También debemos considerar a favor de este recurso el hecho de que su utilización no produce contaminación alguna (de naturaleza térmica o química), ni alteraciones en el ecosistema que contiene a las instalaciones (CIPPT y OIT, 1985).

En cuanto a sus aplicaciones recientes, experiencias llevadas a cabo en países en vías de desarrollo indican que aun en regiones de bajas velocidades medias de viento (por ejemplo la India), la energía eólica puede ser utilizada con buenos resultados económicos en el bombeo de agua, significando para la población rural una solución tecnológica simple que con un mantenimiento acorde a sus posibilidades, no interacciona de manera negativa con el ecosistema rural y natural. El uso de esta alternativa eólica frente a otros tipos convencionales de energía se ha implementado en países como la India, Tanzania, Sri Lanka, Cabo Verde y algunos más, mostrando ventajas económicas y medioambientales en la mayoría de los casos (op.cit.). A manera de ejemplo, y en cuanto a la diversidad de las aeromáquinas, en el apéndice A se esquematizan algunas de rotor de eje vertical (Figs. 11. 1 a 11. 4) (NSF - USA, 1975). En lo referente a las aplicaciones del recurso eólico, en el apéndice B se representan y describen los elementos principales de una aerobomba (fig. 11. 5) (CIPPT y OIT, 1985).

1. 3. 2) La Energía Solar

Las fuentes naturales de energía que se encuentran en el seno de la tierra son bien conocidas por todos, pero muy pocas son las personas convencidas de que el sol es realmente la principal fuente natural de energía; quemamos carbón, madera o productos petrolíferos, sin pensar que todos estos combustibles tienen su origen en la energía solar. Se sabe que la tierra recibe anualmente del sol una cantidad de energía de unos 7×10^{17} kWh (kilovatios/hora), sin embargo, con sus centrales eléctricas y otras instalaciones, el hombre sólo puede generar por año 4×10^{13} kWh (Rau H., 1980).

La radiación solar media que llega a nuestro planeta es de 80 a 300 watts/m², según la hora del día y las condiciones meteorológicas (op. cit.). Esta energía proveniente del sol se puede aprovechar para varias aplicaciones, a saber: calefacción de viviendas, producción y acumulación de agua caliente, extracción de sal de los océanos, accionamiento de equipos acondicionadores de aire, destilación de agua y cocción de alimentos (Muhsam G., 1985).

a) Insolación y Destilación del Agua.- Se denomina insolación a la duración del asoleamiento intenso del día, es decir, al número de horas que alumbra el sol durante el día; el fenómeno de la insolación implica un apreciable aumento de la temperatura de los cuerpos. La destilación es un proceso por medio del cual al aumentar la temperatura de una mezcla líquida, se separan sus componentes por vaporización parcial de la misma, de tal manera que la composición del vapor obtenido es distinta a la del líquido residual. El concepto de destilación implica el proceso de vaporización en el cual el vapor producido se recupera de ordinario por medio de la condensación (Ortiz y Guerra, 1982)

La destilación del agua por insolación se realiza en aparatos llamados alambiques o destiladores solares los que, empleando la energía solar, transforman el agua contaminada o salobre en agua potable. Su funcionamiento se basa exclusivamente en el efecto invernadero. La destilación solar del agua se interpreta como la necesidad de aprovisionamiento de agua dulce apta para el consumo doméstico, en zonas carentes de este líquido (op. cit.).

b) Energía Solar y Conversión Fotovoltaica.- La conversión fotovoltaica es la transformación directa de la energía solar en eléctrica, por lo que constituye una fuente inagotable de energía para la tierra (Giufrida, 1985). Todos los materiales, pertenezcan o no a un sistema viviente, absorben en distinto grado la radiación solar, y con ella, retienen también la energía asociada. La radiación solar está compuesta por la combinación de radiaciones electromagnéticas de muy diversa energía, las más débiles son las de mayor longitud de onda, mientras que las más potentes tienen una longitud de onda pequeña (Fig. 1. 8) (Hupping S., 1978).

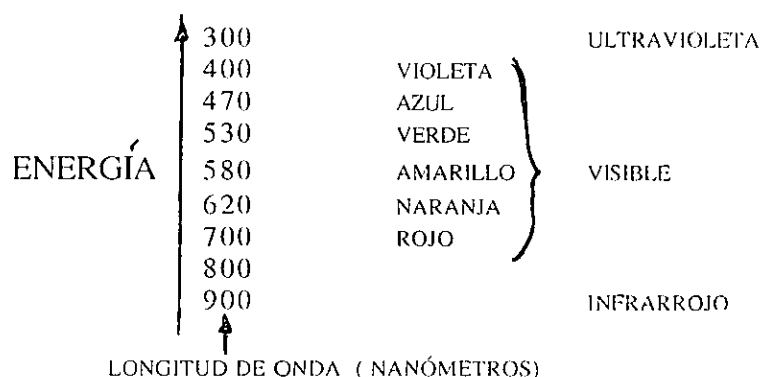


Fig. 1. 8. Longitud de onda de algunas de las radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. (Tomado de Rius y Castro, 1979.)

La conversión fotovoltaica es posible utilizando elementos llamados semiconductores, éstos son sustancias químicas cuya conductividad eléctrica es intermedia entre la de un metal o conductor y un aislante o no conductor. Los semiconductores pueden transformar la luz solar en energía eléctrica o química figurando, entre los elementos químicos con esta característica se encuentran el germanio (Ge), silicio (Si), selenio (Se), telurio (Te), boro (B) y el estaño gris. El Si y Ge son los más conocidos y se emplean extensamente en dispositivos tales como rectificadores, transistores y celdas fotovoltaicas o fotoceldas. Una celda solar es un ejemplo importante de un dispositivo semiconductor, que permite la transformación de la energía luminosa del sol en energía eléctrica (Rius y Castro, 1979).

c) Mecanismos y Tecnologías de Conversión de la Energía Solar.- Como se indicó anteriormente, la destilación solar del agua es un proceso que se basa en los fenómenos de evaporación y condensación del líquido. Los alambiques o destiladores solares consisten en un depósito pintado interiormente de negro y en el cual se coloca el agua (Ortiz y Guerra 1982)

Este recipiente va cubierto con un vidrio inclinado que evita el escape del aire caliente y húmedo hacia el exterior. Otras funciones de la cubierta de vidrio son el de formar una superficie fría donde la humedad pueda condensarse, y el de actuar como pantalla frente a la radiación infrarroja emitida desde la superficie del agua. El dispositivo permite que la mezcla aire-vapor, cercana a la superficie del líquido, adquiera mayor temperatura y por tanto menor densidad que la mezcla aire-vapor que se encuentra inmediatamente por debajo de la cubierta transparente, formando por lo tanto corrientes de convección que van poniendo en contacto a las diferentes capas de la mezcla con la superficie fría del vidrio, en donde éstas se condensan (op. cit.).

Finalmente, el condensado se recolecta por gravedad en unos canales situados por debajo de la pendiente de la cubierta para después transportarlo a los depósitos limpios. Al final de esta operación quedan en el recipiente algunos residuos, que posteriormente son evacuados (idem). La optimización de estos aparatos así como sus distintos diseños de construcción se muestran en el apéndice C.

Con respecto a las celdas fotovoltaicas, las más comunes son las de silicio y su funcionamiento básico es el siguiente: El silicio tiene una valencia de 4; en un cristal puro de este elemento sus átomos están dispuestos en una red cristalina regular y completamente uniforme, siendo su conductividad eléctrica muy baja.

Si se introduce como impureza en el silicio fundido, un elemento de valencia 5 como el arsénico (As), dejando enfriar la mezcla lentamente, se formará un cristal uniforme en el que algunos de los átomos de silicio serán sustituidos en la red por átomos de arsénico. Cuatro de los cinco electrones del átomo de arsénico se utilizan en la unión cristalina, de la misma manera que sucede con los átomos de silicio, pero el quinto electrón queda libre para moverse y actuar transportando energía eléctrica. Así también, cuando se introduce en la red cristalina un elemento de valencia 3, como el boro (B), éste toma un electrón extra que deja un hueco positivo entre los átomos de silicio y que puede moverse libremente (Rius y Castro, 1979)

En la célula fotovoltaica (Fig. 1. 9) una capa -N negativa de silicio - arsénico con cargas positivas fijas y electrones libres, está en contacto con una capa -P positiva de silicio - boro de electrones fijos y huecos libres. En el plano de contacto de las capas, los electrones libres de la capa -N se encuentran con los huecos libres positivos de la capa -P y se combinan entre sí, formándose una capa de barrera con electrones y huecos fijos ya que las partículas móviles se neutralizan en la superficie de contacto, constituida por iones de arsénico con carga positiva en la capa -N e iones de boro con carga negativa en la capa -P (Op. cit.).

Mientras que las dos capas originales eran eléctricamente neutras, ahora ambas se han transformado en una carga positiva en el lado -P de la barrera que impide la difusión de más huecos y en una carga negativa en el lado -N que impide la difusión de más electrones. En las capas -P y -N del cristal se colocan electrodos metálicos (idem).

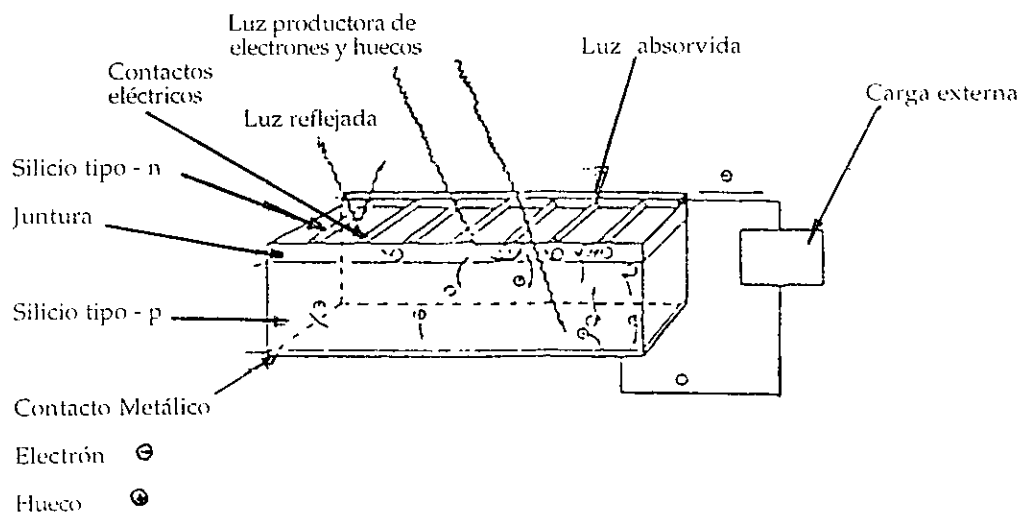


Fig. 1. 9. Operación esquemática de una celda fotovoltaica (Tomado de Muhsam G., 1985).

Cuando este sistema absorbe energía (en el caso del silicio luz visible e infrarroja corta), cada unidad luminosa o fotón produce un electrón y un hueco positivo. Al existir una barrera de potencial en la unión P-N, los electrones producidos en la capa -N se mueven hacia un electrodo y los huecos positivos hacia el otro.

Cuando los electrones y los agujeros se concentran en los electrodos se produce un potencial eléctrico, y si se unen los electrodos con un conductor, una corriente eléctrica circulará a través de él (Idem). En el silicio, toda la luz solar visible hasta los 11500 Å del infrarrojo se aprovecha para liberar electrones y hacer funcionar la célula fotovoltaica. El máximo de conversión eléctrica es alrededor de los 7000 Å, próximo a la longitud de onda de máxima intensidad en la radiación solar; el silicio es especialmente bueno para el funcionamiento solar de células fotovoltaicas (Palz W., 1978). En el apéndice D se expone de manera resumida la técnica de fabricación de fotoceldas, las ventajas y desventajas de este sistema de conversión energética y una de sus aplicaciones (Figs. 11. 7 y 11. 8).

1. 3. 3) La Biomasa.

La biomasa tiene importantes ventajas como fuente de energía: es renovable, relativamente barata y almacenable. Por estas razones representa un recurso energético muy importante en cuanto a su estudio y utilización energética eficiente. Este es el recurso que como fuente alternativa de energía, se analiza de manera enfática en los capítulos IV, V y VI de este trabajo de tesis.

II) OBJETIVOS.

Los objetivos de este trabajo son:

- Determinar la viabilidad del uso de los recursos biomásicos como fuente alternativa real de energía, considerando la aplicación de técnicas de transformación energética con tecnología instrumental apropiada, para el sostenimiento de una unidad productora de tipo cooperativo en una comunidad rural.
- Se pretende cubrir las demandas energéticas de una unidad rural productora típica, bajo el criterio de disponibilidad de fuentes energéticas alternativas y renovables, principalmente por medio del recurso biomásico, considerando soluciones técnicas reales.

- Hacer evidente la compatibilidad de este recurso con el objetivo común de obtención de energía, como llave para el crecimiento de una comunidad rural típica. En este sentido, es importante mencionar que el uso, aplicación y consumo racional de energía en sus distintas formas coadyuva al bienestar humano y comunitario, y puede hacer posible un desarrollo más equilibrado y justo de los pueblos.
- Se busca lograr el desarrollo productivo de estas poblaciones rurales, tomando en cuenta las consideraciones siguientes:

a) El de comunidades ya establecidas, pero que por sus condiciones de marginalidad y por las limitaciones económicas y de desarrollo del país no se hallan vinculadas como unidades integrales productivas al sistema económico nacional.

b) El de planificación de nuevos asentamientos en forma de unidades de producción cooperativa que aseguren por un lado, el bienestar mínimo de sus habitantes, y por otro la máxima productividad agrícola de sus tierras. Como condición fundamental para realizar este desarrollo, deberán considerarse de manera accesible y apropiada el poder económico del sector rural, así como sus características de naturaleza ideológica, política y cultural.

III) MÉTODO

Este trabajo se considera una propuesta teoricometodológica que sea útil como instrumento guía, para el uso de fuentes alternas de energía en el desarrollo de una comunidad rural típica. Dada su naturaleza se a realizado una investigación bibliográfica y documental con una estructura dinámica y general que expone la información siguiente:

1) Fuentes energéticas alternativas.- Inicialmente, en la introducción, se definen las fuentes energéticas alternativas o no convencionales. También se presenta la exposición y explicación de aquellas (viento y radiación solar), que son viables en su tratamiento y conversión energética y cuyo caudal integrado a un consumo unitario periódico, cumpla con la finalidad del autoabastecimiento energético comunitario sin repercusiones medioambientales. Por otro lado, de manera breve y esquemática se hace énfasis en algunos de los fenómenos que originan a los vientos, tanto a nivel regional como planetario, citándose algunas referencias históricas de su utilización.

Finalmente, en esta sección figura de manera no tan destacada pero significativa la fuente energética solar, analizándola en su naturaleza térmica y radiante, con objeto de visualizar los procesos que hacen posible su uso como recurso energético. También se reconocen aquellos mecanismos que permiten la conversión de la energía de los vientos y de la radiación solar, en fuentes de energía útil para el consumo. Por último, se analizan las tecnologías correspondientes, observándose algunas características particulares de su operación, desarrollo y eficiencia (aeromáquinas, destiladores, celdas fotovoltaicas, etc.).

2) El Recurso Biomásico y su importancia como fuente de energía alternativa.- La información contenida en los capítulos IV, V, y VI se ocupa de los siguientes aspectos. La definición del recurso biomasa, indicando las eficiencias energéticas en su producción, distribución global a nivel mundial y lo relativo a los recursos biomásicos terrestres en relación al tipo de ecosistema y su variabilidad, elaborando una clasificación de aquellos según su procedencia (animales, forestales, agrícolas, etc.). También se revisan los diversos métodos de conversión energética de la biomasa, exponiendo la clasificación de los mismos según su origen (bioquímicos y termoquímicos) considerándose soluciones técnicas viables, para que la dotación energética de las comunidades rurales sea más económica según su uso final. Por último, se realiza un inventario del potencial biomásico mexicano, realizando una estimación general de su aportación energética al consumo nacional de energía.

3) Propuesta de autoabastecimiento energético en una comunidad rural tipo.- En la sección VII se describe la comunidad seleccionada, exponiendo consideraciones que comprenden tanto su morfología física y ubicación geográfica como su estructura sociocultural, revisando así mismo los recursos energéticos más utilizados y el potencial biomásico existente en la región. También se caracteriza económicamente, presentando los objetivos específicos del proyecto para la zona rural, la estructura de la demanda energética y el modelo energético de la producción de biomasa, realizando la cuantificación de las necesidades de potencia según el uso terminal dentro de la comunidad rural. Posteriormente, y considerando la implementación de la tecnología bioquímica de la digestión anaeróbica, se define la disponibilidad de biogas abordando cuestiones técnicas sobre el diseño y operación del biodigestor. La información vertida en esta sección, en su gran mayoría no corresponde a una investigación de campo, sino que la misma a sido obtenida de los anuarios y estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (I. N. E. G. I.).

Otra parte a sido consultada de documentos de naturaleza técnica (manuales y artículos) y, además, la información respectiva a las características físicas de los animales y a las condiciones ambientales de su desarrollo, se obtuvo de visitas y consultas a campesinos y ganaderos del Estado de México (Ayapango y Ozumba). Por último, es pertinente aclarar que los datos referentes al consumo de potencia de los diversos aparatos que se mencionan en este apartado, son proporcionados por los fabricantes. Es por estas razones que la viabilidad e implementación de este proyecto a situaciones reales y concretas, exige ajustes de naturaleza técnica, económica y social entre otros, que permitan su adecuada aplicación.

4) Análisis económico del proyecto rural.- Se evalúan aquí (apartados VIII y IX) las alternativas de abastecimiento energético a la comunidad rural, analizando comparativamente en sus costos tanto a la vía alternativa como a la convencional. Por último, se llevan a cabo observaciones que tienen que ver con ajustes al proyecto, con miras a desarrollar una estrategia aplicable a la realidad del país, tomando en cuenta la identificación de tecnologías de conversión de biogas disponibles, su nivel nacional de desarrollo, mecanismos de financiamiento, etc.

IV) EL RECURSO BIOMASA Y SU VARIABILIDAD.

Dentro de la dinámica de globalización económica y comercial, como en otras naciones, México ha sufrido un proceso de industrialización relativamente rápido. Dicho desarrollo provoca u origina presiones sobre el medio físico y biológico, ocasionando diversidad de problemas como el agotamiento y pérdida de recursos naturales, erosión del suelo, degradación del agua y el aire y alteración de ecosistemas (Turk y colaboradores, 1973)

Dicha situación contrasta con la cada vez mayor exigencia de satisfacer las necesidades bioestructurales y bioenergéticas de una población creciente, que demanda una diversidad de productos agropecuarios biomásicos muy grande. En los sistemas productivos agropecuario y agroindustrial, se dan movimientos y conversiones de grandes volúmenes del recurso biomásico, cuya significación energética es relevante. En este sentido, se origina la necesidad de optimizar los recursos, incluyendo a los residuos derivados de estos procesos (biomasa residual) que también resultan ecológica y energéticamente importantes. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1984), señala que es posible reducir el impacto ambiental de los procesos ya mencionados, logrando una utilización constante y ambientalmente racional de los residuos biomásicos, cuando:

- Se conocen las cantidades y características de estos residuos.
- Las tecnologías son compatibles con el contexto económico y cultural locales, haciendo viable y posible su implementación.
- La reelaboración de la biomasa residual puede realizarse in situ.
- Existe un mercado o uso final para el producto resultante.
- No se originan residuos secundarios que causen graves problemas ambientales o sociales.
- Exista un adecuado seguimiento de asistencia técnica.
- Proporciona un beneficio económico y medio ambiental tanto individual como comunitario.

La Fig. 4. 1. esquematiza el origen de los residuos biomásicos: las materias primas utilizadas en los sistemas productivos agropecuario y agroindustrial originan, al transformarse en ciertos productos principales (carne, huevo, grano, forraje, etc.) una variedad de subproductos o residuos dentro de los cuales se incluyen los de naturaleza biomásica. Si estos se utilizan con fines energéticos, entonces se obtiene un producto secundario (v. gr. biogas) y un residuo o subproducto secundario (v. gr. bioabono).

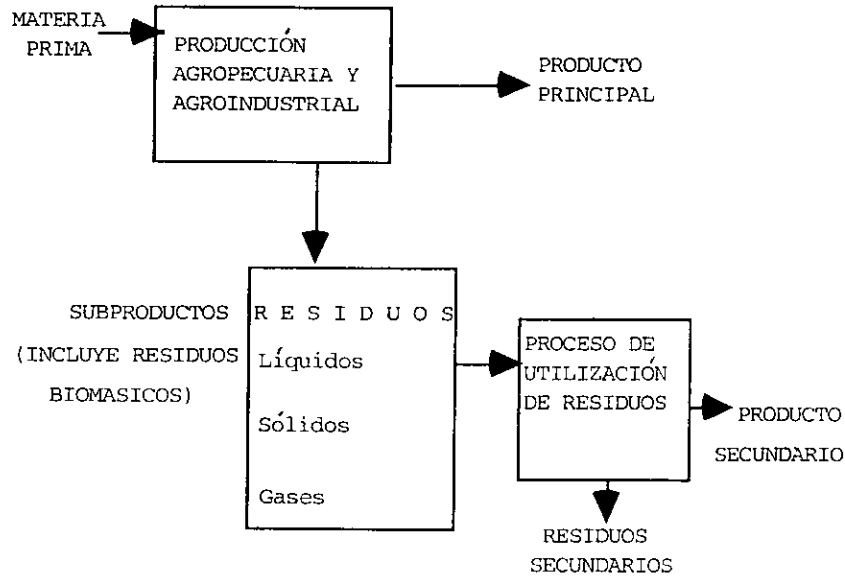


Figura 4. 1. Interacción entre la producción agropecuaria y agroindustrial y la utilización de residuos biomásicos. (Basado en PNUMA, 1984).

El recurso biomásico comprende una amplia categoría de sustratos orgánicos que provienen de vegetales y animales de origen reciente. El análisis sobre la formación de la biomasa puede asociarse básicamente a la de tipo vegetal, ya que la biomasa animal depende esencialmente de ésta, y en términos de cantidad de energía es de mucho menor importancia.

El mantenimiento de la vida en la Tierra es dependiente de la operación continua de muchos ciclos bioquímicos, considerando cuantitativamente como el más importante al del carbono-oxígeno, representado en la Fig. 4. 2 (Cordourier A. , 1984). La radiación solar suministra la energía necesaria que permite el movimiento de los elementos. Los organismos autótrofos producen biomasa a partir de materiales inorgánicos simples (CO_2 y H_2O) atrapando la energía luminosa por el proceso de fotosíntesis (op. cit.). Las plantas comprenden casi exclusivamente los únicos depósitos del ciclo, ya que sintetizan enormes cantidades de macromoléculas tales como celulosa, ligninas, sacáridos, almidones, etc. Posteriormente, las macromoléculas sufren biodegradación por la acción de microorganismos y reacciones químicas, produciéndose los compuestos básicos iniciales (Crawford, 1981).

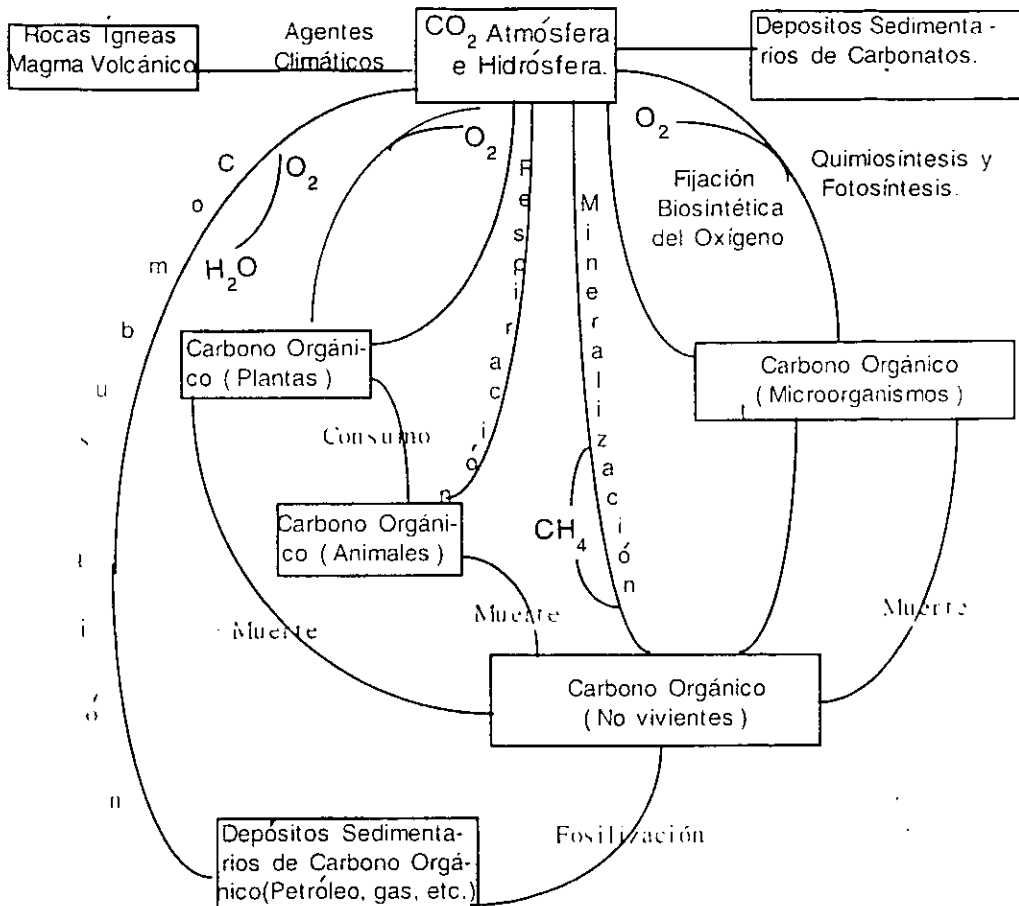


Figura 4. 2. Ciclo carbono-oxígeno. (Basado en Cordourier A., 1984).

Desde el punto de vista energético, la eficiencia en la captura de energía solar y la asimilación de CO_2 atmosférico por las plantas son los factores más determinantes para seleccionar el material biomásico para usos energéticos. Así, en la Fig. 4. 3 se observa que la eficiencia de fijación energética de este recurso es de 1 a 4 %, pues la mayoría de la energía en forma de radiación solar incidente se disipa en la atmósfera por reflexión e ineficacia fotosintética, mientras que otro tanto es utilizado por las plantas para sus funciones vitales. La definición de eficiencia desde el punto de vista energético, la ofrece el autor Juan Antonio Tonda como: "En los sistemas de conversión de energía ... la eficiencia se define como el cociente entre la energía útil que se extrae del sistema y la energía que entra al mismo (Tonda, 1995). Como la primera siempre será menor que la segunda, la eficiencia de conversión de cualquier máquina, planta, central o dispositivo siempre será menor que el 100 %".

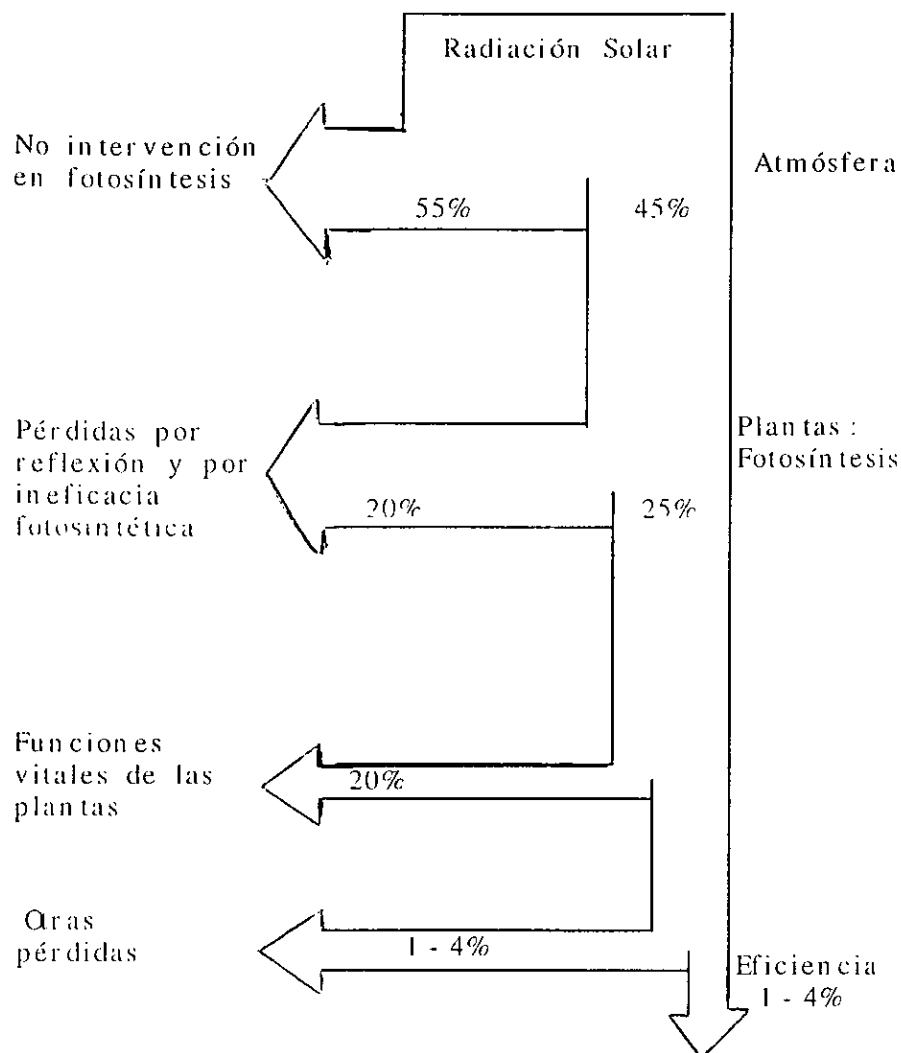


Figura 4. 3. Eficiencias energéticas en la producción de biomasa. (Basado en Hall y colaboradores, 1982).

El rol que la biomasa juega en el suministro mundial ha sido ya de tiempo reconocido y cuantificado. Las estimaciones de consumo y producción son generalmente aproximadas, debido a la naturaleza no comercial de los combustibles biomásico. Hall y colaboradores (1982) han calculado que la energía suministrada por este recurso renovable corresponde al 14% del consumo energético mundial, es decir, aproximadamente cinco veces la cantidad que es provista por la hidroelectricidad y la fisión nuclear combinadas (Hall y colaboradores, 1982). En la Fig. 4. 4 puede apreciarse que en los países en vías de desarrollo, el 43 % de la fuente total de energía empleada es biomasa, porcentaje que caracteriza la estructura de su consumo y que los diferencia de los países desarrollados, donde el 1% de la energía consumida proviene de este recurso. También se observa que a nivel mundial, el consumo representado por la biomasa es del 14% (op. cit.).

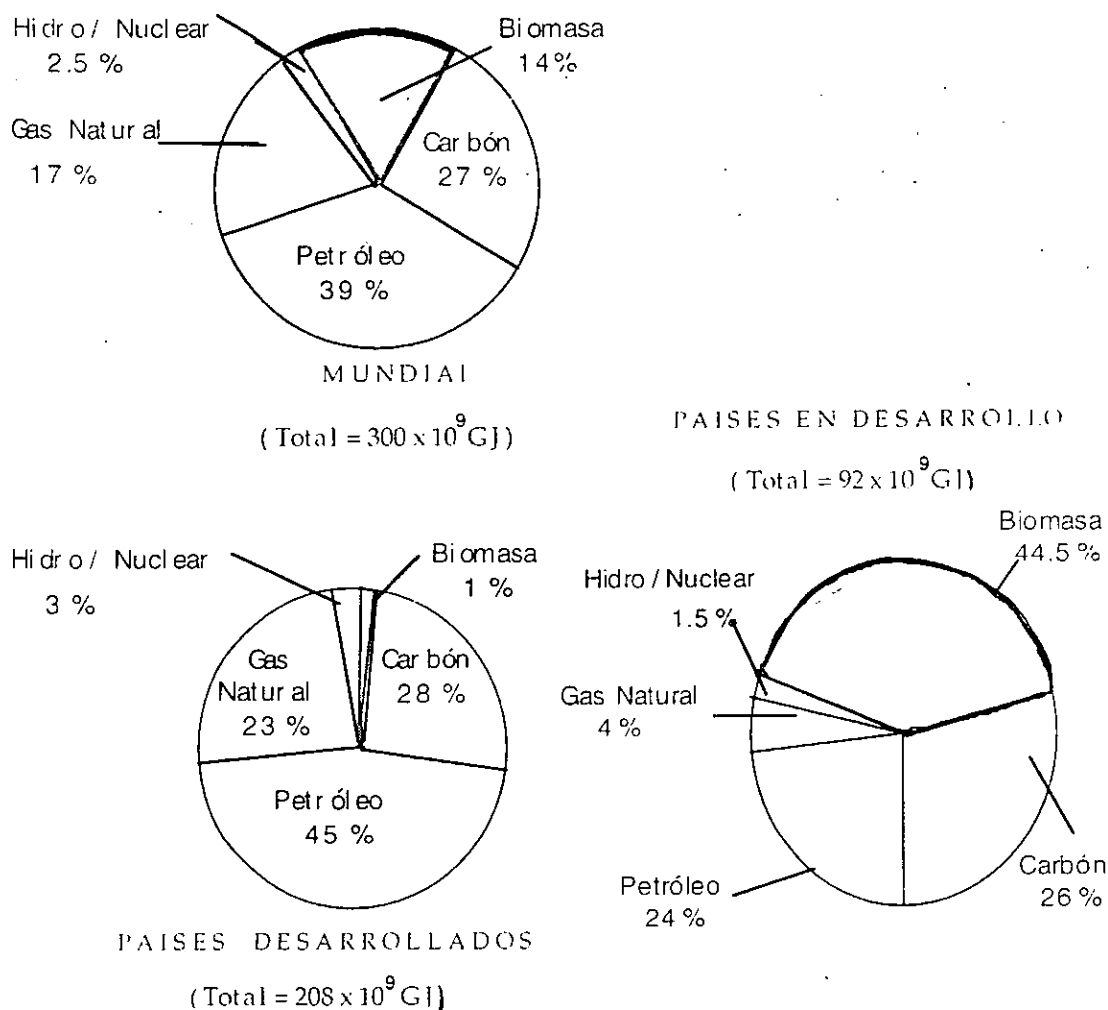


Figura 4. 4. Distribución global de la energía. (Tomado de Hall y colaboradores, 1982).

La tabla 4. 1 muestra la distribución de recursos biomásicos en la tierra cuantificados para los distintos tipos de ecosistemas. En ella se aprecia que los bosques y zonas arbustivas son las que cubren más superficie (57 millones de km^2) y también son las que aportan mayor cantidad del recurso biomásico en materia seca, tanto producido como almacenado (casi 80×10^3 millones de ton/año y 1.7 billones de toneladas, respectivamente). Los ecosistemas agrícolas son aquellos que poseen menos superficie (14 millones de km^2) y que por lo tanto, son los que tienen menor cantidad de biomasa producida y almacenada en forma de materia seca (poco más de 9×10^3 millones de ton/año y 14×10^3 millones de ton, respectivamente).

Además, se ve que el total de la superficie correspondiente a la biomasa terrestre es de 147 millones de km^2 , que en recurso producido y almacenado en forma de materia seca equivalen a 116.7×10^3 millones de ton/año y más de 1.8 billones de toneladas, respectivamente. El contenido total de energía que la biomasa terrestre produce anualmente, equivale a unos 40.6×10^3 millones de toneladas equivalentes de petróleo (T. E. P.), valor aproximado a 7 veces el consumo mundial de energía comercial, y que por otro lado, la reserva de biomasa almacenada en el planeta asciende a unos 640×10^3 millones de T. E. P., cantidad equiparable a las reservas probadas de combustibles fósiles.

Es preciso considerar que los recursos almacenados anualmente deben observarse con cautela, ya que la mayoría de la producción ocurre en condiciones difíciles de explotación debido a factores geográficos, climáticos, económicos y de baja densidad del recurso.

Tabla 4. 1. Recursos biomásicos terrestres. (Tomada de Peter y Palz, 1983)

Tipo de Ecosistema	Superficie (10^6 km^2)	B Producida		B Almacenada	
		Mat. Seca (10^9 Ton/año)	% del total (10^9 Ton)	Mat. Seca (10^9 Ton)	% del total
Zonas Boscosas y de Arbustos	57.0	79.9	68.5	1700	92.6
Sabanas y Pastizales	24.0	18.9	16.2	74	4.0
Tierras Cultivadas	14.0	9.1	7.8	14	0.8
Otras: Tundra, Desierto, etc.	52.0	8.8	7.5	48.5	2.6
Total de Biomasa	147.0	116.7	100.0	1836.5	100.0
Contenido Energético Total (10^9 T. E. P.)			40.6		639.5

B = Biomasa

La tabla 4. 2 caracteriza el consumo de madera para uso energético en el mundo e incluye la madera convertida a carbón de leña. De esta tabla pueden destacarse los aspectos siguientes. Del consumo de madera total, los países africanos ocupan el primer lugar (92.1 %) en cuanto a la utilización de este recurso como energético, seguidos de los países asiáticos (83.1%) y latinoamericanos (80.0%). La cantidad de energía asociada a estos porcentajes es respectivamente de 79, 174 y 60 millones de T. E. P.

La incongruencia entre los valores mencionados para Asia y África solo es aparente, ya que el primer continente utiliza mayor cantidad de madera (957 millones de m³) por lo que su porcentaje a pesar de ser menor, equivale a mayor cantidad de energía (Peter y Palz, 1983). Asimismo, del valor total de la madera que se obtiene en los países en desarrollo, 84.5% (313 millones de T. E. P.) se usa con propósitos energéticos, mientras que en los desarrollados solo al 11.3% (32 millones de T. E. P.) se le da esta finalidad. Además, ya que las principales formas de combustible biomásico son la madera y el carbón de leña, es posible constatar que ambos representan a los energéticos empleados por más del 50% de la población mundial, como fuente primaria de calentamiento y cocción de alimentos (op. cit.).

TABLA 4. 2. Consumo de madera como energético. (Tomado de Peter y Palz, 1983)

ENTIDAD	Consumo de		Fracción del Total (%)	Energía de		Fracción del Total (%) ¹
	Combust. Madera (10 ⁶ m ³)	Madera (Global) (10 ⁶ m ³)		Combust. Madera (10 ⁶ T. E. P.)	Energía Comerc. (10 ⁶ T. E. P.)	
AFRICA	353	383	92.1	79	55	58.9
ASIA	796	957	83.1	174	880	16.5
AMERICA LATINA	272	340	80.0	60	260	18.7
PAISES EN DESARROLLO	1421	1680	84.5	313	1195	20.7
PAISES DE- SA RROLLADOS	145	1276	11.3	32	4760	0.7
MUNDIAL	1566	2956	52.9	345	5955	5.4

¹ Total de madera para combustible + energía comercial.

Los recursos biomásicos disponibles se clasifican en cinco categorías principales: recursos forestales, recursos agrícolas, residuos orgánicos animales y urbanos, residuos provenientes de la industria (básicamente de tipo alimenticio) y recursos de origen marino (op. cit.). A continuación, se entrega una breve descripción de cada uno de ellos obtenida de Peter y Palz (1983):

4. 1) RECURSOS FORESTALES.- La madera y los desechos forestales constituyen la mayor fuente de energía proveniente de la biomasa, ocupando el cuarto lugar después del petróleo, del carbón y del gas natural en el mundo. Los combustibles de madera como la leña y el carbón de leña representan 3/5 del volumen total de la madera talada de los bosques. Se ha estimado que durante 1980, unos 2000 millones de habitantes dependían diariamente de la leña y el carbón vegetal como su fuente energética principal para satisfacer sus necesidades básicas, tales como cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción doméstica.

Las limitaciones que existen para disponer de este recurso están relacionadas con varios factores, entre ellos la magnitud limitada de la riqueza forestal que determina tasas límites de explotación. Por otro lado, los mecanismos de recolección y distribución a los centros de población también inciden en la disponibilidad inmediata y en el costo competitivo de este combustible.

Una subcategoría de recursos forestales con potencial energético, lo constituyen los residuos producidos por los aserraderos bajo la forma de aserrín, virutas, despuntes, etc. y que a menudo significan volúmenes cercanos al 50% de la madera procesada. La industria del pulpado de la madera produce licores ricos en componentes carbonosos (ligninas, terpenos, polisacáridos) que representan una fuente energética importante, puesto que al ser combustiónados se recupera calor para procesos diversos junto con compuestos químicos de utilidad (v. gr. la obtención de celulosa para la producción de pulpa de papel).

4. 2) RECURSOS AGRÍCOLAS.- Los recursos de tipo agrícola, cultivos y residuos, representan una enorme fuente de energía, pero su manejo está sometido a una serie de limitaciones técnico - económicas. La producción de tales insumos depende de un conjunto de condiciones locales tales como la temperatura, la radiación solar, la humedad, y el tipo de suelo, entre otros factores. A modo ilustrativo, el maíz produce residuos en el intervalo de 0.5 a 4 ton/ha año, con un contenido energético medio de 3100 kcal/kg.

El empleo de residuos agrícolas con fines energéticos está también influido por otras demandas competitivas como alimento para ganado, material de construcción de viviendas, fertilizantes, etc. Cuando se están removiendo cantidades importantes de nutrientes del suelo también deben tomarse en cuenta consideraciones de tipo ecológico. Finalmente, la disponibilidad temporal del suministro determina requerimientos de almacenaje y planificación del tipo y número de cultivos anuales.

4. 3) RECURSOS ANIMALES Y URBANOS.- Esta categoría incluye una gran variedad de sustratos orgánicos, a saber: excremento, aguas negras, basuras, plumas, huesos, etc. La utilización de estos materiales con fines energéticos comprende desde la incineración hasta la fermentación anaeróbica para producir biogas. La disponibilidad de residuos depende de una gama de factores. Por ejemplo, los residuos animales varían según la especie, tipo de alimentación y densidad de población. Existe también una serie de limitaciones de orden práctico derivadas del mecanismo recolector de los residuos, como también de restricciones socioculturales por el hecho de usar heces y basuras con fines energéticos.

Los residuos urbanos representan una fuente energética potencialmente útil pero de cierta dificultad en su uso, derivada de la gran heterogeneidad de los mismos. Las alternativas de conversión termoquímica (incineración) o bioquímica (fermentación) estarán reguladas por consideraciones técnico - económicas y sanitarias.

4. 4) RECURSOS INDUSTRIALES.- Las actividades agroindustriales producen una importante cantidad de residuos orgánicos, entre los que se incluyen desechos de frutas y verduras, cápsulas de vegetales, melazas provenientes de la industria azucarera, subproductos de la industria aceitera, etc. Aun cuando los volúmenes globales son pequeños, generalmente tienen una contribución energética relevante como combustible del mismo proceso industrial que los genera. Una estimación del contenido energético total de tales residuos señala que, en el conjunto de los países en desarrollo, representan unas 3.5×10^7 T. E. P., equivalentes al 2.5% de la energía total empleada en tales países.

4. 5) RECURSOS MARINOS.- El análisis del recurso biomásico marino está asociado a la producción de plantas acuáticas. El uso de tales sustratos, aún en estudio, tiene la ventaja de que ofrece altos rendimientos (hasta 40 ton/ha año) comparado con los vegetales terrestres (5 a 12 ton/ha año).

V) PROCESOS Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DE BIOMASA.

En los puntos anteriores se ha dado una visión global de los distintos recursos energéticos que existen y pueden ser aprovechados en una comunidad rural. En este apartado se abordan de manera general, dos aspectos que son relevantes para el objetivo de lograr el sostenimiento energético de una unidad productora de tipo cooperativo, organizada en una comunidad rural.

En primer lugar, se muestra la relación entre la fuente de energía disponible y su contribución a la economía energética de la comunidad, según su uso final; en segundo lugar, se exponen los procesos y tecnologías de conversión energética a partir de la biomasa que hacen viable dicha relación.

5. 1) RELACIÓN ENTRE FUENTE ENERGÉTICA Y USO FINAL.- Bajo los criterios de disponibilidad de fuentes energéticas, dotación de energía más económica para cada uso final y la aplicación de soluciones técnicas adecuadas, se intenta cubrir las demandas de una unidad productora típica rural según la relación expuesta en la tabla 5. 1.

Esta tabla propone la dotación de energía por medio de biomasa para la cocción y refrigeración de alimentos, el calentamiento de agua y el alumbrado doméstico; la energía eólica sería útil para el bombeo mecánico de agua, mientras que la energía solar (en sus formas térmica y fotovoltaica) se emplearía para obtener agua potable por destilación y para la operación de un radioteléfono y receptores de radio y televisión. Sin embargo, es importante enfatizar el carácter propositivo de la tabla, ya que en este trabajo de tesis solo se destaca la dotación de energía por medio de biomasa para los usos representados en ella, incluyendo también el de bombeo de agua.

5. 2) PROCESOS Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA.- Para utilizar el recursos biomasa con fines energéticos esta disponible una variedad de métodos que pueden clasificarse en dos clases: procesos bioquímicos y termoquímicos. Se recurre a unos u otros de acuerdo a las características físicoquímicas de la biomasa, al tipo de equipo que será accionado por el combustible, y para responder a necesidades de almacenamiento y transporte más eficientes y económicas (CESEN, 1980). La tabla 5. 2 muestra las diversas opciones existentes para la conversión energética de la biomasa.

TABLA 5. 1. Relación entre fuente energética y destino final.

FUENTES DE ENERGÍA	DESTINO FINAL
1) Biogas a partir de desechos animales (Biomasa)	Cocina
	Alumbrado Doméstico
	Refrigeración
	Agua Caliente
2) Energía Eólica	Bombeo de Agua
3) Energía Solar Térmica	Agua Potable
4) Energía Solar Fotovoltaica	Radioteléfono
	Receptores de Radio y Televisión

TABLA 5. 2. Clasificación y usos de diferentes fuentes de energía biomásica. (Tomado de Goodman y Love, 1981.)

Fuente Biomásica	Proceso de Conversión	Tipo de Combustible	Usos Primarios	Nivel de la Tecnología
MADERA	Destilación destructiva (Pirólisis)	Carbón Vegetal	Calentamiento y Cocción alimentos	Desarrollada
	Gasificación	Gas	Reemplazo de gas natural	Práctica y desarrollada
	Licuefacción	Metanol	Diversos	Desarrollada
RESIDUOS ORGANICOS	Combustion directa	No existe	Diversos	Desarrollada
	Digestión anaeróbica	Biogas	Calentamiento, cocción y otros	Práctica y desarrollada
	Pirólisis	Biogas	Diversos	Desarrollada
CULTIVOS SACAROIDES	Combustion directa	No existe	Diversos	Desarrollada
	Fermentación alcohólica	Etanol	Diversos	Desarrollada
CULTIVOS AMILACEOS	Hidrólisis enzimática	Etanol	Diversos	Desarrollada
	Fermentación Alcohólica	Etanol	Diversos	Desarrollada
CULTIVOS CELULOSICOS	Hidrólisis enzimática	Etanol	Diversos	Desarrollada
			Diversos	Desarrollada
BAGAZO	Fermentación alcohólica	Etanol		Desarrollada
ALGAS	Combustion directa	No existe	Fuente de calor	
SOLIDOS RESIDUALES	Digestión anaeróbica	Biogas	Diversos	En estudio
	Pirólisis flash	Acidos orgánicos	Sustituto del petróleo	En estudio

En la tabla 5. 2 se señalan los procesos de conversión energética involucrados para el recurso biomásico madera, que son: la pirólisis o destilación destructiva, la gasificación, la licuefacción y la combustión directa, obteniéndose de cada uno de éstos los combustibles siguientes: carbón vegetal, gas de síntesis, metanol y directamente calor, respectivamente. Los usos primarios para estos combustibles serían el calentamiento y la cocción de alimentos y el reemplazo del gas natural, correspondiendo un nivel de tecnología desarrollada para los procesos de conversión involucrados.

5. 2. 1) Procesos de Conversión Bioquímicos.- En los procesos de conversión bioquímica se utilizan mecanismos enzimáticos entre microorganismos y sustratos orgánicos (op. cit.). En la producción de combustibles se emplea la digestión anaeróbica y la fermentación alcohólica, aunque existen otros como el composteo y la digestión aeróbica de los que se obtienen productos no combustibles tales como fertilizantes. El composteo es el proceso en el que se realiza la descomposición de una mezcla de materiales orgánicos en presencia de aire y del que se obtienen fertilizantes. La digestión aeróbica, por su parte, es un proceso de descomposición de materia orgánica en presencia de oxígeno por la acción de bacterias. Es útil para la depuración de aguas negras o residuales.

La digestión anaeróbica se refiere al proceso degradativo de materia orgánica por bacterias que actúan en un medio exento de oxígeno (Mandujano, *et al.*, 1981). El gas producido, llamado biogas, está constituido por metano (54 - 70 %), bióxido de carbono (27 - 45%), agua (30 - 160 g/m³), hidrocarburos saturados (1 - 5 %) y trazas de ácido sulfhídrico (0 - 1 %) (op. cit.). El poder calorífico del biogas oscila entre 4700 y 5200 kcal/m³. El proceso bioquímico tiene también el beneficio de proveer un residuo rico en nutrientes para usarlo como bioabono, y desempeña un importante rol sanitario debido a la mineralización de los residuos orgánicos. El proceso de la digestión anaeróbica es complejo pues comprende una serie de reacciones catalizadas por bacterias de diferentes tipos, según se explica a continuación:

La biomasa es primeramente degradada a moléculas simples por bacterias anaerobias facultativas "acidogénicas", pertenecientes a los géneros Bacillus, Bacterium, Pseudomonas y otros, siendo muy importantes las de los géneros Escherichia y Citrobacter, interviniendo además algunos hongos de los géneros Aspergillus y Penicillium (Mateo, 1983). Después, tales compuestos son convertidos a metano por un segundo grupo de bacterias anaerobias estrictas llamadas "metanogénicas" que pertenecen a los géneros Methanobacterium, Methanobacillus, Methanococcus y Methanosarcina (op. cit.). La figura 5. 1 muestra el proceso de fermentación anaeróbica a partir de la celulosa:

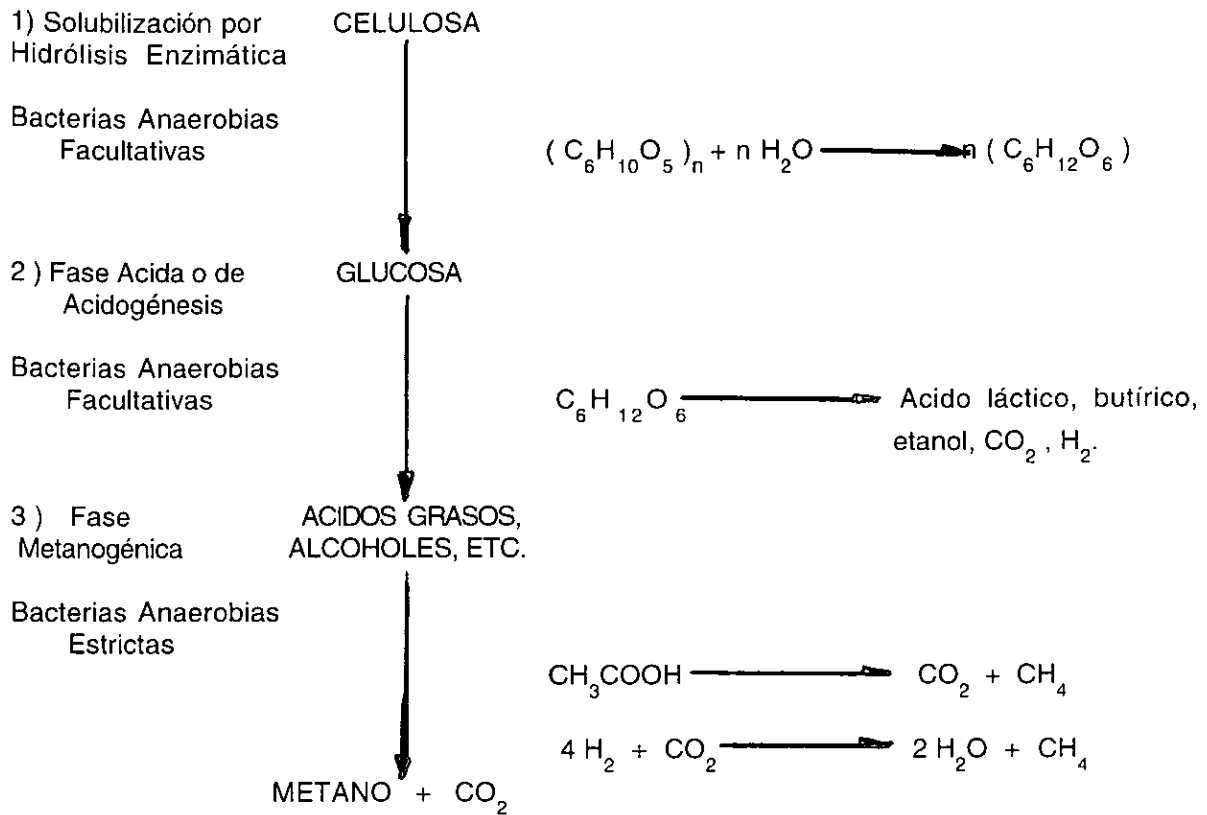


Figura 5. 1. Proceso de fermentación anaeróbica para la producción de biogas. (Basado en Mateo B., 1983).

Consta de tres fases o etapas: En la primera fase, llamada de solubilización, la materia orgánica cruda formada por polímeros tales como proteínas complejas, grasas y carbohidratos (en este caso celulosa), es hidrolizada a compuestos simples y solubles (por ejemplo glucosa) por la acción de enzimas extracelulares de bacterias anaerobias facultativas. En la segunda etapa, denominada de acidogénesis o ácida, los compuestos simples y solubles resultantes de la primera etapa (glucosa), son sometidos a un proceso de fermentación que los convierte por óxido - reducción en ácidos y alcoholes simples (de cadena corta) mediante la acción enzimática intracelular de bacterias anaerobias facultativas.

Durante la tercera etapa de metanogénesis, los ácidos orgánicos simples producidos en la fase anterior se transforman en sustratos que se descomponen y estabilizan para la producción de metano, por medio de la acción de bacterias metanogénicas estrictamente anaerobias que utilizan dos vías para lograr el producto final: la fermentación del ácido acético y la reducción del bióxido de carbono (op. cit.).

La eficiencia térmica del proceso es muy grande, ya que más del 90% del contenido energético de la biomasa degradable es retenido en el metano producido, mientras que una pequeña cantidad se emplea en la reproducción de las bacterias y el resto se pierde como calor (idem). El proceso de digestión es sensible a una variedad de condiciones del medio: temperatura, pH, concentración de nitrógeno y velocidad de alimentación biomásica (Idem). La temperatura juega un papel particularmente importante; las bacterias involucradas en tales reacciones se clasifican en dos categorías principales (Mandujano *et al.*, 1981):

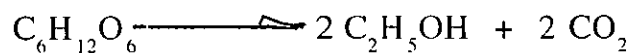
- i) Especies mesófilas, que operan a temperaturas entre 30 y 45 °C.
- ii) Especies termófilas, que lo hacen entre 45 y 60 °C.

El ámbito de pH debe encontrarse entre 7 y 8, con un valor óptimo de 7.5; la relación carbono - nitrógeno no debe ser mayor a 30 ni inferior a 10, y para un completo metabolismo bacteriano, la relación carbono - fósforo debe estar en un valor cercano a 160 (Op. cit.), el grado de humedad es muy importante y se estima entre el 88 y 92% (Arellano, 1980).

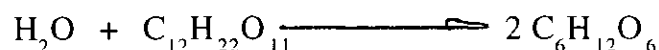
La carga biomásica comúnmente usada para este tipo de digestión es el estiércol animal el cual puede ser convertido a metano con una eficiencia neta del 35 - 50% (energía en metano/energía de la carga) (op. cit).

La multiplicidad de residuos orgánicos, más las variables de diseño y operación de un equipo digestor originan una gran variedad de sistemas, algunos de los cuales serán mencionados más adelante.

Goodman y Love (1981) describen el proceso de fermentación alcohólica el cual permite obtener etanol a partir de sustratos ricos en carbohidratos (sacarosa, glucosa, almidón, celulosa, etc.). El etanol posee un poder calorífico inferior a 6400 kcal/kg y es un combustible actualmente en uso. Dependiendo de las características fisicoquímicas del material biomásico, las reacciones para producir alcohol serán de diversa complejidad. Así, los monosacáridos (glucosa y fructosa) son directamente fermentables según la siguiente ecuación:



Los disacáridos (sacarosa) son inicialmente convertidos a la forma mono y después fermentados de la siguiente manera:



Los polisacáridos, como el almidón, se transforman en sacáridos más sencillos, por ejemplo maltosa, mediante hidrólisis enzimática (diestasa, amilasa) y luego se produce glucosa, también por el mismo procedimiento. La celulosa puede ser hidrolizada para formar glucosa usando medios ácidos (HCL, H₂SO₄) o enzimas (celulasa).

Bioquímicamente, el proceso de fermentación alcohólica es altamente eficiente y virtualmente toda la energía es retenida en el alcohol producido. A pesar de ello, el rendimiento global del proceso puede ser bajo debido a que en algunos vegetales los sustratos fermentables están unidos a la fracción de lignina, no fermentable.

El conjunto de procesos anteriores permite visualizar un amplio ámbito de combustibles a disposición de las distintas necesidades energéticas, como ya se resumió en la tabla 5. 2. que muestra una clasificación y usos de la energía biomásica.

5. 2. 2) Procesos de conversión termoquímicos.- Al igual que cualquier polímero, la biomasa es inestable a altas temperaturas y sufre descomposición para producir moléculas más pequeñas sólidas, líquidas y gaseosas.

La combustión representa una oxidación completa para dar anhídrido carbónico (CO₂) y agua (H₂O). Controlando el proceso mediante una adecuada combinación de temperatura, presión y, eventualmente catalizador, además de limitar el suministro de oxígeno, puede lograrse la descomposición parcial de la biomasa para producir una variedad de combustibles útiles (CESEN, 1980). Los principales procesos termoquímicos de conversión son la combustión directa, la pirólisis, la producción de carbón vegetal, la gasificación y la licuefacción directa e indirecta. La breve descripción de estos procesos que a continuación se expone, se obtuvo de Goodman y Love (1981).

La combustión directa ha sido por mucho tiempo el principal medio de producir calor para uso doméstico e industrial. Este proceso emplea leña y todo tipo de residuos forestales (virutas, aserrín, etc.) y agroindustriales (cáscaras de semillas) y los residuos sólidos urbanos (basuras). Todos estos materiales tienen una serie de características comunes, entre ellas la dispersión relativa en un territorio, modesto valor calorífico unitario, baja densidad aparente y discontinuidad de suministro en el tiempo. Estas situaciones generan problemas de orden económico - técnico para su recolección, almacenamiento, conservación, pretratamiento y combustión. De otro lado, la explotación racional del recurso biomásico es necesaria para evitar agotamiento de los stocks del energético. La biomasa que se quema directamente debe tener una humedad inferior al 40% y una relación carbono - nitrógeno mayor de 30. Como ejemplo, 1 kg de leña apto para la combustión contiene aproximadamente los siguientes componentes: 400 g de carbono, 200 g de agua, 342 g de oxígeno, 10 g de ceniza, 43 g de hidrógeno, 5 g de otros compuestos.

La pirólisis es la descomposición térmica de la biomasa a temperatura elevada y en ausencia de oxígeno. Las condiciones del proceso son temperaturas entre 200 y 600 °C a presión atmosférica. Bajo estas condiciones los rendimientos típicos de 1 kg de leña son (base seca): 30 - 35% de carbón vegetal, 18 - 20% de líquidos orgánicos y 20% de gas. Esta distribución de productos corresponde a una reacción tipo como la siguiente:



donde $\text{C}_{42}\text{H}_{66}\text{O}_{26}$ es leña, $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{O}_2$ es carbón de leña y $\text{C}_{28}\text{H}_{32}\text{O}_9$ son gases, creosota y compuestos del ácido piroleñoso. La pirólisis busca maximizar la producción del componente sólido incrementado el contenido de carbono en el material, y este es el parámetro crítico que determina en gran parte la calidad del combustible.

Algunos datos de la producción de carbón son los siguientes: a) Rendimiento de pirólisis (base seca): 1/3 a 1/6 (carbón/leña), b) Tamaño óptimo de la leña: diámetro de 1.5 a 15 cm, c) Longitud de 40 - 100 cm, d) 85 - 90 % de carbono en el carbón vegetal, e) un poder calorífico inferior del carbón de 6500 - 7200 kcal/kg, f) un poder calorífico inferior de la leña de aproximadamente 3700 kcal/kg, con 20 % de humedad y una porosidad del carbón de leña de 72 - 85 %. La temperatura de pirólisis puede relacionarse con el % de carbono, en la producción de carbón de leña, mediante una ecuación del tipo: $(\% \text{C}) = 0.035 T (^\circ\text{C}) + 68.2$ (350 - 650 °C).

Se denomina como poder calorífico inferior a la cantidad de calor liberada durante la combustión de 1 kg de sustancia, y cuando el agua presente en los productos de reacción se encuentre en estado de vapor.

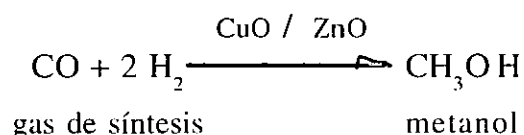
La gasificación es el proceso termoquímico de la descomposición de la biomasa con el fin de obtener productos energéticos gaseosos. Involucra un paso de pirólisis inicial, posteriormente, y a través de la admisión de cantidades limitadas de oxígeno o aire al sistema, se permite una combustión parcial del sólido y líquido resultantes, lo cual eleva la temperatura generándose un producto final predominantemente gaseoso. La ventaja de esta técnica es que permite la conversión de biomasa a una forma de combustible más versátil, y sólo con una pequeña pérdida de energía durante el proceso (Idem). A temperaturas entre 600 y 1000 °C se origina un gas compuesto de CO, CO₂, H₂ e hidrocarburos, cuyo poder calorífico es cercano a 1500 - 2500 kcal/m³. Una distinción básica que se establece entre las diferentes técnicas de gasificación es de acuerdo a la fuente de oxígeno para el proceso.

La gasificación con aire produce un gas pobremente energético (1100 - 1500 kcal/m³), en tanto que la gasificación con oxígeno da como resultado un gas de contenido energético mayor (2000 - 2500 kcal/m³).

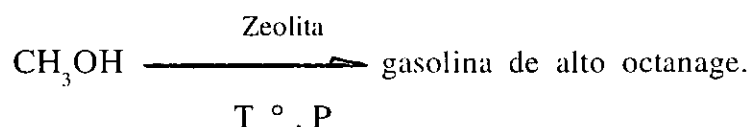
Este último método es más costoso y origina el denominado gas de síntesis, compuesto que puede eventualmente emplearse en la síntesis de metanol, amoníaco y otros productos químicos (idem).

La licuefacción es la conversión de biomasa en combustibles líquidos, mecanismo que puede subdividirse en dos tipos: licuefacción indirecta y directa.

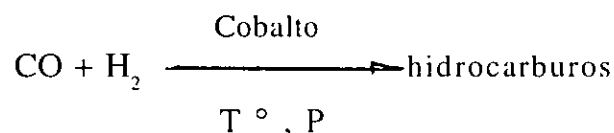
El primer proceso es una fase siguiente a la gasificación. Se procede a depurar el gas resultante, se corrige la relación H_2/CO y se realiza la reacción en presencia de un catalizador. Algunos procesos industriales que se usan son: a) producción de metanol, b) proceso móvil y c) el proceso Fischer-Tropsch. La producción de metanol ocurre de la siguiente forma:



T° = Temperatura: 300 - 350 $^\circ\text{C}$; P = Presión: 100 - 200 atm ; h = eficiencia energética = 30 - 40%. El proceso móvil ocurre de acuerdo a la siguiente ecuación:



y el proceso Fischer-Tropsch sucede como sigue (Roberts y Caseiro, 1977):



La licuefacción directa involucra la hidrogenación de la biomasa a altas presiones y temperaturas usando CO y/o H_2 como agente reductor.

5. 2. 3) Tecnologías de Conversión Energética de la Biomasa.- No existe una tecnología general y única que pueda ser usada con cualquier materia prima biomásica, por lo que se han desarrollado un considerable número de tecnologías de acuerdo a las variaciones en el contenido de agua y la composición química del sustrato. Anteriormente se describieron los procesos de conversión termoquímicos y bioquímicos, cada uno de los cuales lleva involucrada una tecnología, eficiencia y costo. Por ende, el énfasis en este trabajo está dirigido hacia la descripción de las tecnologías técnicamente factibles para satisfacer necesidades energéticas en pequeña y mediana escala, como lo requiere el sector típicamente rural o doméstico.

La mayoría de los problemas relacionados con el suministro energético rural se ven agravados por la baja eficiencia energética de los equipos y artefactos, y por los obstáculos básicos de pobreza y desigualdad que limitan el acceso de gran cantidad de habitantes al consumo energético (Douglas C., 1989)

Para resolver los suministros de energía doméstica en países en vías de desarrollo es necesario abordar un conjunto de tareas técnicas y económicas. Parte de la solución será expandir la producción biomásica e incrementar la eficiencia del uso de combustibles biomásicos. En particular, las acciones que parecen más convenientes para los países latinoamericanos en el corto plazo y en el campo de la biomasa son: a) uso eficiente de los recursos forestales, b) utilización de los residuos agrícolas, c) producción de biogas, d) introducción de mejoras en el rendimiento de equipos energéticos (cocinas, estufas, etc.) y e) producción de carbón vegetal en forma racional y eficiente. En función de los aspectos mencionados a continuación se analizan un conjunto de tecnologías posibles de introducirse o mejorarse, en medios rurales o socialmente deprimidos.

En la tecnología de la fermentación anaeróbica la producción de biogas ocurre en reactores digestores anaeróbicos (biodigestores). De acuerdo a la forma en que se les suministra la alimentación puede hacerse la siguiente clasificación (Bux S.,1975):

- a) Por carga, lote o batch.- Una sola carga total dentro del digestor sufre un ciclo completo de fermentación, descargándose totalmente al final.

- b) De régimen semicontinuo.- Una carga parcial, calculada previamente, es colocada en una zona del biodigestor diariamente, y una carga aproximadamente igual de material fermentado es extraído en la zona opuesta.

- c) De régimen continuo.- Cierta volumen regulado es introducido continuamente en un extremo y el mismo volumen es retirado en el otro extremo. Este equipo es apto para alimentaciones muy diluidas.

El porcentaje de humedad de la carga permite seleccionar el tipo de equipo digestor a utilizar, según se expone a continuación. Para altos porcentajes de humedad (mayores al 95%) se recomienda uno de tipo continuo, para humedades menores del 85% se utiliza un sistema discontinuo (op. cit.).

Otra clasificación se establece de acuerdo al arreglo usado para la colección del gas. es la siguiente: a) Combinación digestor- gasómetro, el cual puede ser de dos tipos: (i) de techo fijo (con tecnología china) y (ii) de techo flexible; b) gasómetro flotante, el cual puede ser de dos tipos: (i) sin sello de agua (con tecnología hindú), y (ii) con sello de agua (tecnología hindú y también guatemalteca); c) gasómetro separado (con tecnología tailandesa). En el Apéndice F se presentan las principales características de algunos biodigestores típicos desarrollados para áreas rurales (citas y esquemas en el Apéndice F).

En la tecnología de la combustión directa los equipos se encuentran extensamente comercializados: cocinas, estufas, generadores de aire caliente y calderas. Para las diversas aplicaciones agrícolas, civiles e industriales tienen capacidades variables desde 5000 hasta varios millones de kcal/h. El mercado ofrece calderas de varios tipos, según se describe a continuación (Austin, 1990):

a) Calderas de tipo horizontal, con inyección-combustión sobre parrilla. La alimentación, que puede ser efectuada con cualquier tipo de desechos, es de tecnología simple.

b) Calderas de tipo vertical, con inyección- combustión sobre parrilla. La carga, solo de tipo mecánico, necesita mayor homogeneidad en el tamaño.

c) Calderas de inyección tangencial. La alimentación puede efectuarse tanto manual como mecánicamente, y es eficiente en la medida que la biomasa esté seca y con granulometría constante.

d) Calderas con prehogar. Se recomienda sobre todo para biomasa húmeda de tamaño variable, la alimentación es realizada manualmente y se dispone en piras.

Según Austin (op. cit.) el rendimiento de combustión (que se define como la razón entre las calorías producidas y el contenido energético de la sustancia utilizada) oscila entre 70 y 85%. Tradicionalmente el recurso más usado para la combustión directa ha sido la madera. En la actualidad se han desarrollado tecnologías para la combustión de residuos agrícolas (por ejemplo: paja de cereales), residuos urbanos (por ejemplo: basuras) ricos en compuestos carbonosos y de baja humedad. La capacidad de estos equipos varía entre 15000 y varios millones de kcal/h (op. cit.).

Los procesos de la gasificación y de la pirólisis son similares en cuanto que el primero maximiza la producción gaseosa y el segundo un combustible sólido, pero sobre un mismo sustrato biomásico, y teniendo como variables de decisión el control del aire y la temperatura del proceso (Idem). Los equipos de gasificación son de diversos tipos, entre los que se encuentran: (a) el gasificador de lecho fijo, con flujo vertical de aire u oxígeno, (b) el gasificador de lecho fluidizado, y (c) el gasificador de lecho en suspensión. Actualmente existe una gran cantidad de equipos gasificadores que utilizan los más diversos sustratos biomásicos (madera, hojas, residuos agrícolas, carbón vegetal, etc.). Según Baumister y Avallone (1984) la línea de acción de las investigaciones tecnológicas están orientadas a:

- a) Optimizar los procesos y equipos para biomasa y productos finales.
- b) Calificar más exactamente los productos obtenidos para su aplicación tecnológica más adecuada.
- c) Perfeccionar las valoraciones económicas de varios sistemas, para un análisis comparativo y correcto de las alternativas.
- d) Producir instalaciones capaces de convertir diversos tipos de biomasa.

VI) EL RECURSO BIOMÁSICO MEXICANO.

6.1) PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL.

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía de 1995, los objetivos básicos de la política energética nacional son los siguientes:

- a) Lograr una oferta diversificada y competitiva de energéticos.
- b) Promover su utilización racional y eficiente.
- c) Adecuar los vínculos productivos con el sector industrial nacional.
- d) Mantener un eficiente suministro tanto operativamente, como en la cantidad y calidad de los productos.
- e) Cumplir con las restricciones ambientales al menor costo para el país.

El organismo rector que plantea estos lineamientos es la Secretaría de Energía y del documento señalado se tomaron los datos que se resumen a continuación:

Los procesos de la gasificación y de la pirólisis son similares en cuanto que el primero maximiza la producción gaseosa y el segundo un combustible sólido, pero sobre un mismo sustrato biomásico, y teniendo como variables de decisión el control del aire y la temperatura del proceso (Idem). Los equipos de gasificación son de diversos tipos, entre los que se encuentran: (a) el gasificador de lecho fijo, con flujo vertical de aire u oxígeno, (b) el gasificador de lecho fluidizado, y (c) el gasificador de lecho en suspensión. Actualmente existe una gran cantidad de equipos gasificadores que utilizan los más diversos sustratos biomásicos (madera, hojas, residuos agrícolas, carbón vegetal, etc.). Según Baumister y Avallone (1984) la línea de acción de las investigaciones tecnológicas están orientadas a:

- a) Optimizar los procesos y equipos para biomasa y productos finales.
- b) Calificar más exactamente los productos obtenidos para su aplicación tecnológica más adecuada.
- c) Perfeccionar las valoraciones económicas de varios sistemas, para un análisis comparativo y correcto de las alternativas.
- d) Producir instalaciones capaces de convertir diversos tipos de biomasa.

VI) EL RECURSO BIOMÁSICO MEXICANO.

6. 1) PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL.

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía de 1995, los objetivos básicos de la política energética nacional son los siguientes:

- a) Lograr una oferta diversificada y competitiva de energéticos.
- b) Promover su utilización racional y eficiente.
- c) Adecuar los vínculos productivos con el sector industrial nacional.
- d) Mantener un eficiente suministro tanto operativamente, como en la cantidad y calidad de los productos.
- e) Cumplir con las restricciones ambientales al menor costo para el país.

El organismo rector que plantea estos lineamientos es la Secretaria de Energía y del documento señalado se tomaron los datos que se resumen a continuación:

La realidad energética mexicana revela en los últimos años un aumento creciente en la participación del petróleo. En 1995 el consumo de este combustible representaba el 54% del total energético nacional, que agregado al 25% del gas, representan ambos casi el 80 % del total energético del país (Tabla 6. 1, op. cit.).

En términos generales, México cuenta con recursos actuales y potenciales en cantidad suficiente para resolver el abasto de energía inmediato. Un panorama de los principales recursos energéticos de la nación se ofrece en la Tabla 6. 1 (op. cit.).

TABLA 6. 1. Principales recursos energéticos nacionales.

Recurso Energético	Producción Total (petacaloría)	Oferta Total (petacaloría)	Oferta Interna Bruta (petacaloría)	Consumo Total Bruto (petacaloría)	Consumo Energético Nacional (%)	Reservas Totales Estimadas
Carbón	40.854	50.268	50.264	49.379	3.55	n. d.
Petróleo Crudo	1428.169	1426.250	747.817	744.668	53.63	64516 ¹
Gas	401.700	399.919	376.873	348.980	25.33	1973 ²
Energía Eléctrica	101.953	101.953	101.953	101.953	7.34	33037 ³

¹ Millones de barriles de petróleo crudo equivalente (b. p. c. e.). n. d. = no hay datos.

² Miles de millones de m³ * Cifras en petacalorías, donde 1 petacal = 10¹⁵ calorías.

³ Megawatts * Total del consumo energético nacional (1995) = 1388.330 petacal

Para el caso del recurso carbón, el consumo total bruto incluye el utilizado para generar electricidad; para el petróleo crudo, la producción total incluye los condensados recuperados del gasoducto y, en cuanto a la energía eléctrica, las reservas totales estimadas se refieren en realidad a la capacidad efectiva instalada que comprende a las hidro, carbo, núcleo, eólo y geoelectricas (idem).

6. 2) EL POTENCIAL BIOMÁSICO DE MÉXICO.

Los recursos biomásicos en el país son variados, tanto en su origen como en cantidad y concentración. Enseguida, y sobre la base de los tipos de biomasa descritos anteriormente, se realiza una estimación de los recursos más relevantes para fines energéticos:

6. 2. 1) Recursos de origen forestal.- Los recursos forestales mexicanos están distribuidos en el 73.3 % (147.7×10^6 ha) (CNIF, 1991) de la superficie total del país (198.5×10^6 ha) (INEGI, 1991), de acuerdo a las regiones siguientes señaladas en la Tabla 6. 2.

Tabla 6. 2. Distribución geográfica de la superficie forestal mexicana ($\times 10^3$ ha). (Basado en la Memoria Económica de la Camara de la Industria Forestal 1981).

REGIÓN ¹	SUPERFICIE ARBOLADA	OTRAS ÁREAS FORESTALES	SUPERFICIE TOTAL FORESTAL
I	6,841.8	30,791.2	37,633.0
II	6,920.2	12,005.2	18,925.4
III	1,520.0	28,257.2	29,777.2
IV	3,999.9	4,218.4	8,218.3
V	3,087.7	4,563.5	7,651.2
VI	4,381.3	7,949.8	12,331.1
VII	8,712.7	9,064.8	17,777.5
VIII	2,259.2	3,022.6	5,281.8
IX	926.7	3,221.7	4,148.4
X	2,962.4	2,040.1	5,002.5
XI	239.2	801.3	1,040.5
TOTAL	41,851.1	105,935.8	147,786.9

¹ Ver Apéndice G

A cada región le corresponde una superficie arbolada que comprende únicamente bosques y selvas; una segunda superficie que corresponde a otras áreas forestales y que comprende terrenos de matorral, arbustivos, perturbados y de vegetación hidrófila, y por último, una superficie total forestal cuyo valor es la suma de las dos anteriores; todas las cifras de la tabla están redondeadas y expresadas en miles de hectáreas.

Puede calcularse el equivalente energético total anual de los residuos del sector forestal mexicano si se considera el flujo anual de productos maderables ($13.4 \times 10^6 \text{ m}^3$; INEGI, 1991), y si se estima la cantidad de residuos generados durante la explotación silvícola entre el 50 y el 150% de la madera extraída; (Informe de la Corporación Forestal Nacional, 1984). Si se toma este último porcentaje, entonces la relación producto/residuo es igual a 1.5 siendo este el valor máximo, por lo que el equivalente energético de tales recursos se calcula de la siguiente manera:

$$(13.4 \times 10^6 \text{ m}^3) (0.7 \text{ ton/m}^3) (1/1.5) (3.4 \times 10^6 \text{ kcal/ton}) = 21.26 \times 10^{12} \text{ kcal} \\ = 21.26 \text{ petcal}$$

Si de manera conservadora consideramos el mismo volumen maderable en 1995, su equivalente energético en porcentaje del consumo energético nacional para ese año sería de (21.26petcal/1388.33 petcal) (100) = 1.53%. Si además agregamos 59.1 petcal de productos forestales no maderables (Balance Nacional de Energía, 1995) tales como la leña, que equivalen a 4.25% del consumo nacional de energía, se calcula que este sector contribuye con 80.37 petcal que significan 5.88% del total nacional.

6. 2. 2) Recursos de origen agrícola.- Dentro del análisis de este recurso es importante revisar el uso del suelo. La tabla 6. 3 muestra los usos del suelo en el país considerando la superficie total para cada uso en millones de hectáreas, además, en ella también se puede observar su proporción en porcentaje con respecto a la superficie total de la nación.

TABLA 6. 3. Usos del suelo en México.
(Tomado de INEGI, 1994)

USO DEL SUELO	SUPERFICIE (X 10 ⁶ Ha)	%
PASTIZALES	79.9	40.8
BOSQUES TROPICALES	24.1	12.3
BOSQUES TEMPLADOS	25.5	13.0
ARBUSTOS Y MATORRAL	30.5	15.6
TERRENOS AGRICOLAS	27.3	13.9
OTROS	8.5	4.3
TOTAL	195.8	100.0

La tabla anterior indica que el área total de los terrenos agrícolas incluyendo la de pastizales rebasa los 107 millones de hectáreas, que equivalen a más del 50% del territorio nacional. Sin embargo, según esta fuente (INEGI, 1994), la capacidad agropecuaria del recurso suelo llegaría a equivaler a poco más del 70% de la superficie total del país (138.8 x 10⁶ ha). De ello se desprende la gran importancia que con fines energéticos, tienen los recursos y residuos biomásicos de origen agrícola y ganadero.

Con respecto al uso productivo que poseen las unidades de producción rural, del total de la superficie en que se asientan (108.3×10^6 ha), el 28.7 % (31.1 millones) está destinada a la agricultura; el 62.1 % (67.2 millones) tiene pastos naturales y de agostadero; el 8.1 % (8.8 millones) es de bosques o selvas y el 1.1 % (1.2 millones) es superficie sin vegetación (Fig. 6. 1; INEGI, 1991).

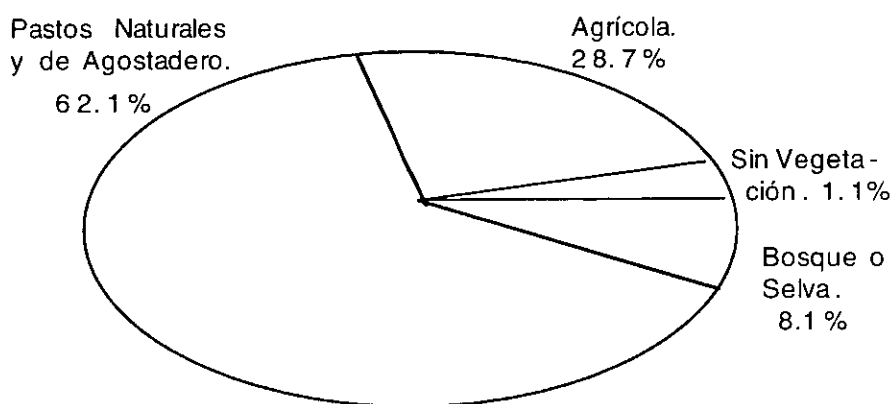


Figura 6. 1. Uso que del recurso suelo hacen en el país, las unidades de producción rural. Tomado de INEGI (1990).

Los cereales que más residuos producen por tonelada de cultivo son el maíz, el sorgo, el arroz, la cebada y el trigo (2.5, 2.0, 2.0, 1.8 y 1.7 toneladas, respectivamente. (Tabla 6. 4; Estadísticas del Banco Central de Chile, 1985), alcanzando un promedio de 1.85 toneladas de residuos generados por tonelada de cultivo producido. Para las leguminosas y la papa, son el frijol, el chícharo y la lenteja los cultivos que generan mayor cantidad de residuos (1.2, 1.1 y 1.1 toneladas, en ese orden; op. cit.), observando que el promedio de residuos producidos en general para esta clase de cultivos, es de 1.08 toneladas por tonelada de cultivo obtenida. Si de la tabla anterior tomamos el total de los residuos generados por el agro, entonces es posible estimar el equivalente energético de aquellos, considerando los siguientes poderes caloríficos para cada clase de cultivo: 4000 kcal/kg para los cereales y 3000 kcal/kg para leguminosas y la papa. Por tanto, la energía total teóricamente disponible de estos recursos agrícolas es:

$$\text{CEREALES} = (1.85) (4 \times 10^6 \text{ kcal/ton}) (23274.2 \times 10^3 \text{ ton}) = 172.22 \text{ petcal},$$

$$\text{LEGUMINOSAS Y PAPAS} = (1.08) (3 \times 10^6 \text{ kcal/ton}) (2087.7 \times 10^3 \text{ ton}) = 6.76 \text{ petcal},$$

$$\text{TOTAL} = (172.22 + 6.76) \text{ petcal} = 178.98 \text{ petcal}.$$

Esta contribución energética corresponde a cultivos anuales o de ciclo corto. Si agregamos además la contribución del principal cultivo perenne que es el de caña de azúcar, entonces el total es:

Producción de bagazo de caña = $35\,541 \times 10^3$ ton (INEGI, 1991),

Relación cultivo/residuo = $1/3 = 0.33$ (Estadísticas del Banco Central de Chile, 1985)

Poder calorífico del bagazo = 1.86×10^6 kcal/ton (Balance Nacional de Energía, 1995)

Cálculo del aporte energético del cultivo de bagazo de caña = $(0.33) (1.86 \times 10^6 \text{ kcal/ton}) (35541 \times 10^3 \text{ ton}) = 21.84 \text{ petcal}$

Total = Contribución energética de cultivos anuales + aporte energético del bagazo de caña
= $(178.98 + 21.81) \text{ petcal} = 200.79 \text{ petcal}$

Que corresponden al recurso bioenergético de cereales, leguminosas, papas y bagazo de caña, o sea de los residuos agrícolas, y cuyo valor equivale al 14.48% del consumo energético nacional. No se consideran más de 13 millones de toneladas producidas en otros cultivos (café, platano, alfalfa, etc.).

Tabla 6. 4. Relación de los cultivos anuales principales del país. (Basado en INEGI, 1991).

CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA ¹ (X 10 ³ Ha)	PRODUCCION (X 10 ³ Ton)	RELACION ² CULTIVO RESIDUO
CEREALES			
* Maíz ³	3,698.9	11,990.5	1 / 2.5
*S orgo ³	1,771.4	4,815.4	1 / 2.0
*T rigo ³	994.2	3,480.0	1 / 1.7
*A vena ³	398.7	1,595.3	1 / 1.5
*S oya	362.8	676.4	1 / 1.5
*C ebada	307.5	422.0	1 / 1.8
*A rroz	103.2	294.6	1 / 2.0
SUBTOTAL	12,636.7	23,274.2	1 / 1.8 ⁴
LEGUMINOSAS Y PAPAS			
* Frijol	2,813.1	1,265.2	1 / 1.2
* Garbanzo	120.4	170.7	1 / 1.0
* Papa	64.1	627.7	1 / 1.0
* Chicharo	17.3	18.1	1 / 1.1
* Lenteja	10.0	6.0	1 / 1.1
SUBTOTAL	3,024.9	2,087.7	1 / 1.0 ⁴
T O T A L	15,298.8	24,685.5	

¹Cifras redondeadas

²Estadísticas del Banco Central de Chile (BCCH). Chile, 1985.

³Incluye grano para forraje y otros usos y destinos .

⁴Promedio ponderado.

6. 2. 3) Recursos de origen animal.- Los residuos biomásicos de origen animal, principalmente estiércol, están disponibles para su transformación energética en la medida que se satisfagan una serie de condiciones, entre las que destacan la de una densidad de población animal mínimamente aceptable y la de crianza en recintos cerrados o cuadras operativamente eficientes en la recolección de residuos.

TABLA 6. 5. Existencias de ganado bovino, ovino, cerdos y aves. (Basado en INEGI).

REGIÓN ¹	BOVINO		OVINO	
	CABEZAS X 10 ³	%	CABEZAS X 10 ³	%
I	3,949.5	16.40	132.3	3.29
II	3,332.3	13.53	340.7	8.49
III	3,195.3	12.98	564.8	14.08
IV	2,715.5	11.03	133.1	3.31
V	2,352.6	9.55	814.0	20.29
VI	3,568.5	14.49	626.4	15.62
VII	3,103.9	12.61	322.2	8.03
VIII	888.4	3.60	31.0	0.77
IX	941.4	3.82	902.1	22.49
X	326.4	1.32	42.8	1.06
XI	237.5	0.96	100.8	2.51
TOTAL	24,611.3	99.93	4,010.2	99.94
REGION ¹	CERDOS		AVES	
	CABEZAS X 10 ³	%	CABEZAS X 10 ³	%
I	1,457.5	14.00	14,439.4	6.03
II	695.5	6.68	17,212.8	7.19
III	776.5	7.46	28,922.6	12.09
IV	1,458.2	14.01	29,337.0	12.27
V	1,961.0	18.84	35,049.8	14.65
VI	1,247.7	11.99	26,164.5	10.94
VII	826.3	7.94	25,061.9	10.48
VIII	637.2	6.12	3,850.3	1.61
IX	1,064.2	10.22	45,533.1	19.04
X	109.1	1.04	1,800.5	0.78
XI	171.4	1.64	11,720.9	4.90
TOTAL	10,404.6	99.94	239,092.8	99.98

¹ Ver apéndice G

Este último factor está asociado al tipo de explotación económica del animal, siendo el ejemplo típico el del ganado bovino, del que si interesa la producción cárnea generalmente esta libre, pero si es la lechera entonces se encuentra encerrado .

Con el propósito de ofrecer una visión global de la disponibilidad y cantidad del recurso, se ofrecen un conjunto de estadísticas referentes a la existencia de animales y aves domésticas del país en la Tabla 6. 5. Los datos de esta tabla comprenden el N° de animales criados en viviendas y unidades de producción tanto urbanas como rurales, de carácter privado, ejidal y mixto; todas las cifras son redondeadas y, en el caso de las aves, su total incluye gallos y gallinas, pollos y pollas, guajolotes, gansos, patos y codornices.

El inventario se expresa en miles de cabezas y en porcentaje por región con respecto al total. La estimación de la cantidad de biogas que teóricamente puede producirse por fermentación anaeróbica del estiércol de los tipos anteriores de ganado (bovino, ovino, porcino y aves), considera para 100 kg de animal vivo los datos que aparecen en la Tabla 6. 6.

TABLA 6. 6. Relación entre la producción de excremento y biogas por diferente tipo de ganado y aves. (Tomado de CESEN, 1980).

TIPO DE ANIMAL	PRODUCCIÓN DE EXCREMENTO (kg/día)	SOLIDOS VOLÁTILES (kg/día)	PRODUCCIÓN DE BIOGAS (m ³ /kg S V)
B o v i n o	8.6	0.86	0.38
O v i n o	5.2	0.70	0.50
P o r c i n o	5.0	0.60	0.45
A v e s	9.0	1.25	0.55

En la tabla 6. 7 se señala, promediando una masa de 300 Kg para bovinos, 30 Kg para ovinos, 50 kg para cerdos y 2 kg para las aves, una estimación de la producción teórica diaria de biogas para los distintos tipos de animales.

Tabla 6. 7. Producción teórica de biogas diario por tipo de ganado.

Tipos de Ganado	Sólidos Volátiles (kg SV/día)	Masa Total Masa Viva	Produccion de Biogas (m³/kg SV)	Cabezas de Ganado (x 10³)	Total de gas diario (x10⁶m³/día)
Bovinos	0.86	3.00	0.38	24611.3	24.13
Ovinos	0.70	0.30	0.50	4010.2	0.42
Porcinos	0.60	0.50	0.45	10404.6	1.40
Aves	1.28	0.02	0.55	239092.8	3.36

El total de gas diario originado por cada clase de ganado se obtiene multiplicando los datos de la segunda a la quinta columnas de la tabla anterior, resultando que la suma de todas las contribuciones de gas es: $(24.13 + 0.42 + 1.40 + 3.36) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día} = 29.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día}$. Considerando que la capacidad calorífica de 1 m^3 de biogas es de 5335 kcal (Balance Nacional de Energía, 1995), entonces el equivalente energético de la suma anterior es de $(29.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día}) (5335 \text{ kcal}/\text{m}^3) = 156368.8 \times 10^6 \text{ kcal}/\text{día} = 0.15 \text{ petcal}/\text{día}$; en un año se llegarían a producir 54.75 petcal que representan el 4.09% del consumo energético nacional.

En el cálculo anterior no se han tomado consideraciones prácticas tales como el problema del ganado estabulado y no estabulado, de recolección de excremento o de eficiencias de conversión, por lo que indudablemente solo una fracción del total es factible de recuperar para fines energéticos. Sin embargo, muestran el enorme potencial que existe en tales residuos.

6. 2. 4) Recursos de Origen Urbano.- La información básica con respecto a los residuos sólidos urbanos de que se dispone para su estimación energética, es la que compete a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Z.M.C.M.), aunque también se cuenta con datos para hacer una estimación nacional.

Las instancias institucionales encargadas del manejo, almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos son: La Dirección Técnica de Desechos Sólidos (D.T.D.S.) y la Dirección General de Servicios Urbanos (D.G.S.U.) incluidas dentro del organigrama del D.D.F. Ahora bien, según su fuente de generación los desechos sólidos se clasifican en municipales, industriales y especiales (INEGI, 1994) siendo los primeros aquellos que se consideran en el siguiente análisis.

En la Ciudad de México se producían 0.370 kg de basura per cápita en 1950, predominando los residuos biodegradables; en la década de los 70' se observa un consumo masivo de artículos de plástico, generándose a mediados de la misma 7×10^3 ton/día de desechos sólidos en el D.F.; a principios de los 80' se producen 9.3×10^3 ton/día resultando notorio el incremento de materiales sintéticos (op. cit.) y para 1993, la Z.M.C.M. desecha un volumen de 19×10^3 ton/día (idem).

Es importante destacar que el volumen de producción de desechos per cápita en el D.F. fue de 1.109 kg/hab día en 1992, por lo que de 1950 al 90 aumentó en 207 %, llegando la proporción de residuos no biodegradables a 810 %, con respecto a esa fecha (Idem). Considerando al territorio nacional de acuerdo con la generación de residuos sólidos municipales, el país puede dividirse en cinco zonas: Fronteriza, Norte, Centro, Distrito Federal y Sureste. La figura 6. 2 presenta el porcentaje de residuos sólidos municipales generados en las regiones anteriores.

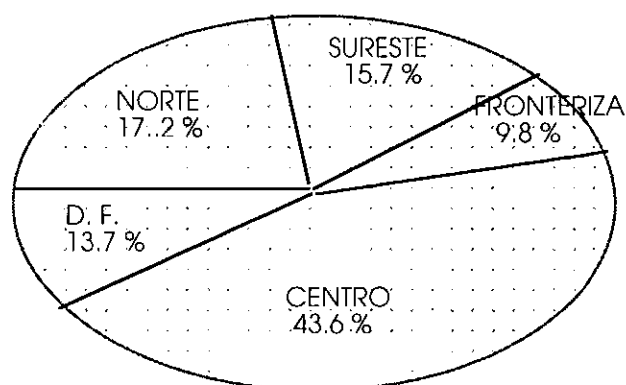


Fig. 6. 2. Porcentaje de residuos sólidos municipales por región para 1992. (Tomado de Estadísticas del Medio Ambiente. INEGI 1994).

Tabla 6. 8. Residuos Sólidos Municipales: Volumen estimado por región (1992). (Tomado de Estadísticas del Medio Ambiente. INEGI 1994).

Zona	No. de habitantes	Generación (Kg/hab día)	Toneladas diarias	Toneladas anuales
Fronteriza	7,859,763	0.749	5,887	2,148,755
Norte	14,250,247	0.726	10,346	3,776,290
Centro	40,886,107	0.642	26,249	9,580,885
D. F.	8,119,211	1.019	8,273	3,019,645
Sureste	13,607,719	0.693	9,430	3,441,950
Promedio	-----	0.766	-----	-----
Total	84,723,047	-----	60,185	21,967,525

Analizando la Tabla 6. 8 y relacionandola con la figura 6. 2 se aprecia que la zona Centro es la mayor productora de residuos, ya que genera un 43.6% equivalente a más de 9.5 millones de toneladas anuales. Esta cantidad es originada por más de 40 millones de personas cada una de las cuales produce diariamente arriba de 0.5 kg de residuos. Sin embargo, como lo indica la tabla, toca al D. F. la estimación mayor del volumen de residuos generados diariamente por habitante: 1.019 kg. Por último, en este cuadro también aparece el total anual de residuos generados en el territorio nacional en estas zonas (casi 22 millones de toneladas al año).

Los residuos sólidos municipales se clasifican, de acuerdo a su fuente y origen específico, en los tres tipos siguientes: comunes, especiales y peligrosos. La tabla 6. 9 presenta una clasificación de las fuentes generadoras de residuos divididas en 4 sectores: el doméstico o domiciliario, el comercial, el de servicios y el llamado de especiales (López S. 1994).

TABLA 6. 9. Generación unitaria de residuos por fuente generadora. (Tomado de DGSEU y DTDS, D. D. F.,1994).

TIPOS DE FUENTES GENERADORAS	ORIGEN ESPECIFICO	GENERACION UNITARIA
<u>Domiciliarios</u>	* Unifamiliar * Plurifamiliar	0.605 Kg / Hab / Día 0.772 Kg / Hab / Día
<u>Comercio</u>	* Tiendas de Autoservicio * Tiendas Departamentales con serv. aliment. sin serv. aliment. * Local Comercial * Mercados : comunes especiales	2.527 Kg / Emp / Día 1.468 Kg / Emp / Día 0.766 Kg / Emp / Día 2.875 Kg / Emp / Día 2.143 Kg / Emp / Día 3.350 Kg / Emp / Día
<u>Servicios</u>	* Rest. y Bares * Hoteles y Moteles * Centros Educativos * Recreación y Espect. estadios cines * Oficinas	0.850 Kg / Comensa / / Día 1.035 Kg / Huesped / Día 0.058 Kg / Alumno / Tur no 0.054 Kg / Espect / Día 0.012 Kg / Espect / Día 0.179 Kg / Empl / Día
<u>Especiales</u>	* Terminal Terrestre * Terminal Aérea * Reclusorio * Unidades Médicas nivel 1 nivel 2 nivel 3	2.418 Kg / Pasaje / Día 5.177 Kg / Pasaje / Día 0.538 Kg / Pasaje / Día 1.279 Kg / Consult / Día 4.730 Kg / Cama / Día 5.580 Kg / Cama / Día
Generación unitaria municipal promedio per cápita = 1.204 Kg / Hab / Día		

El análisis de esta Tabla revela una jerarquización en la generación de desechos, de acuerdo a su origen específico y dentro de cada uno de los sectores considerados, presentando la siguiente información.

En el sector doméstico, son los domicilios plurifamiliares los que producen diariamente mayor cantidad de residuos por habitante, con 0.772 kg; dentro del sector comercial son los mercados, locales comerciales y las tiendas de autoservicio las que generan más desechos por empleado al día (3.350, 2.875 y 2.527 kg, respectivamente); en el sector de servicios, los hoteles y moteles seguidos de los restaurantes y bares, se destacan en el rubro ya mencionado (ver tabla 6. 9); por último, en el sector de especiales es donde se encuentran las actividades cuya generación unitaria de desechos es la más grande, correspondiendo el primer lugar a las unidades médicas de niveles 1 y 2 con 5.580 y 4.730 kg/cama día en este orden, además, también dentro de este sector, las terminales aéreas generan una cantidad apreciable de desechos con 5.177 kg/pasaje día. En la parte inferior del cuadro se observa la generación unitaria municipal promedio per cápita que es de 1.204 kg/hab día. De esta tabla también es posible inferir una jerarquización de los sectores mencionados, de acuerdo al promedio de generación unitaria de desechos diarios por sector: especiales con 3.287 kg; comerciales, 2.188 kg; domiciliarios, 0.689 kg; y de servicios con 0.320 kg.

Con el propósito de ponderar las alternativas energéticas de los residuos sólidos es necesario conocer la composición porcentual de los mismos, registro que expresado en la tabla 6. 10 sólo corresponde a residuos sólidos municipales de tipo común.

TABLA 6. 10. Composición porcentual por zonas de los residuos sólidos municipales¹. (Tomado de INEGI, 1994).

Residuo	Fronteriza	Norte	Centro	Sur	Z.M.C.M.
Carton	3.01	4.28	4.16	4.51	3.000
Res. Finos	4.68	9.71	6.28	6.37	0.977
Hueso	0.52	0.59	0.94	0.61	0.678
Hule	0.71	0.78	0.90	0.31	0.342
Lata	3.13	2.46	2.10	2.80	2.261
Mat. Ferr.	0.51	0.46	0.86	1.37	0.640
Mat. no Ferr	0.22	0.57	0.45	1.00	0.050
Papel	11.36	9.17	8.80	6.90	11.020
Pañal Desech.	4.96	2.59	2.79	4.01	1.996
Plást. Pelic.	2.68	3.79	3.32	3.96	2.800
Plást. Rígido	2.80	2.38	1.96	2.38	2.154
De Jardín	15.35	7.48	6.95	7.88	5.164
De Aliment.	25.72	37.56	38.20	41.06	40.740
Trapo	2.52	1.94	2.00	1.25	1.560
Vidrio Color	3.98	3.36	2.86	3.95	2.149
VidrioTransp	4.22	4.27	4.15	4.08	3.410
Otros	13.63	8.61	14.36	9.23	3.442
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000

¹ No comprende residuos especiales ni peligrosos, sólo comunes.

Res. = Residuos. Mat. Ferr. = Material ferroso. Mat. no ferr. = Material no ferroso.
 Desech. = Desechable. Plast. Pelic. = Plástico en película. Plást. = Plástico.

Los residuos orgánicos (de jardín y alimenticios) son aquellos que en mayor proporción (45.2% en promedio) contribuyen a la composición de los residuos sólidos (Tabla 6. 10). Los dos parámetros básicos de los residuos para su utilización con fines energéticos son: su peso volumétrico o densidad y su contenido de humedad. En la actualidad, estas características cualitativas y cuantitativas se conocen bien para los residuos sólidos del Distrito Federal (López Sánchez, 1994). Por ejemplo, el peso volumétrico o densidad de los residuos por fuente generadora en el D.F. se presenta en la Tabla 6. 11.

TABLA 6. 11. Densidad o peso volumétrico por fuente generadora en el D.F. (Basado en DGSU y DTDS, D. D. F., 1994).

Fuente	Densidad (kg/m³)
Domicilios	228
Locales Comerciales	209
Oficinas	80
Servicios Públicos	88
T. Terrestres y Aereas	132
Areas Públicas	443
Mercados	181
Unidades Médicas	130
Promedio	186.37

El cuadro anterior muestra que los residuos de áreas públicas, los domésticos y los de locales comerciales presentan mayor densidad (443, 228 y 209 kg/m³, respectivamente); enseguida están los mercados, terminales terrestres y aéreas y las unidades médicas con 181, 132 y 130 kg/m³ en ese orden; los residuos de servicios públicos y oficinas son los de menor densidad con 88 y 80 kg/m³ para cada uno de ellos. Por último, la tabla expone en su parte inferior el promedio de la densidad de los residuos: 186.37 kg/m³.

La humedad, el poder calorífico y otras características fisicoquímicas de los residuos por fuente generadora se observan en la Tabla 6. 12. De esta tabla es posible obtener la información siguiente: los desechos con más contenido de humedad son los que provienen de los mercados (76.67%); aquellos que después de su combustión producen mayor cantidad de cenizas son los domésticos (14.54%); en cuanto a su contenido de materia orgánica, carbono e hidrógeno, los residuos de unidades médicas aventajan a los otros (ver tabla 6. 12): para los parámetros nitrógeno y oxígeno son los desechos comerciales y domiciliarios los que destacan (3.80 y 27.14% respectivamente); por último, considerando el poder calorífico superior son los residuos generados en los servicios públicos los que sobresalen en este rubro. Como ya se mencionó, son la densidad y humedad de los residuos, los parámetros más importantes a considerar cuando quiere darseles un uso con fines energéticos.

TABLA 6. 12. Características fisicoquímicas de los residuos por fuente generadora. (Tomado de DGSU y DTDS, D. D. F., 1994).

Parámetros	Tipos de Fuente Generadora					
	Físico- Quím.	Domicilios	U. Médicas	Serv. Publ.	Comercios	Mercados
HUMEDAD (%)		49.95	57.81	12.30	27.80	76.67
CENIZAS (%)		14.54	12.67	3.80	3.40	12.38
MAT. O R G A. (%)		76.51	90.89	46.40	51.57	68.95
CARBONO (%)		42.43	52.60	26.91	30.03	48.97
HIDROGENO (%)		4.90	6.05	3.09	3.45	3.33
NITROGENO (%)		1.67	1.06	1.90	3.80	3.60
OXIGENO (%)		27.14	31.18	14.50	14.49	13.90
P. C. S. ¹ (Kcal/ Kg)		3199.61	2617.00	6528.00	3430.00	1349.00

Quím. = Químicos ; U. = Unidades ; Serv. Publ. = Servicios Públicos ;

Mat. Orga. = Materia Orgánica

P.C.S = Poder Calorífico Superior. Se denomina como poder calorífico superior a la cantidad de calor liberada durante la combustión de 1 kg de substancia, y cuando el agua presente en los productos de reacción se encuentra en estado líquido.

La tabla 6. 11 ofrece la densidad promedio de los residuos (186.37 kg/m^3), mientras que de la tabla 6. 12 puede obtenerse la humedad promedio de aquellos (44.90%) a partir de los datos considerados en el primer renglón de la misma. Tomando en cuenta el promedio anterior de estos parámetros, las alternativas de uso energético de tales residuos son básicamente dos: (a) combustión directa para recuperación de energía calorífica y (b) fermentación anaeróbica. Para residuos sólidos cuyo contenido de humedad sea bajo es recomendable la primera opción, para aquellos cuyo porcentaje sea medio o alto (40 a 70%) se encuentra favorecida la segunda. Por tanto, con el uso de estos residuos para la producción de biogas, algunos estudios del I. N. T. E. C. de Chile (1982) caracterizan a partir del análisis de basuras nacionales, una tasa productiva de este recurso energético de cerca de 290 m^3 biogas/ton, cantidad que, estimativamente, puede considerarse enorme, si bien ha de ajustarse a las condiciones de los tiempos de retención particulares de cada sustrato y del proceso fermentativo específico.

Considerando el valor anterior como un parámetro de referencia, teóricamente es posible estimar a *grosso modo* la producción anual de biogas para el D.F., la zona metropolitana de la ciudad de México (Z. M. C. M.) y la nacional, estimación que se ofrece en la tabla 6. 13.

TABLA 6. 13. Equivalencias energéticas de producciones anuales de biogas de los residuos urbanos.

Entidad	Parámetro de Referencia ($\text{m}^3 \text{ gas/ton res}$)	Cantidad Anual de Residuos ($\times 10^6 \text{ ton/año}$)	Volumen Anual de Biogas ($\times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas/año}$)	Equivalencia Energética (petcal/año)
D. F. ¹	290	3.01	872.9	4.65
Z. M. C.M. ²	290	6.93	2009.7	10.72
Nacional ¹	290	21.96	6368.4	33.97

¹ Para el año de 1992

² Para el año de 1993

La cantidad anual de residuos para la Z. M. C. M. ($6.93 \times 10^6 \text{ ton/año}$) es para 1993, y se trata de una estimación a partir de la cifra de 19,000 toneladas diarias producidas en esa zona (Tabla 6. 13).

Con respecto al volumen anual de biogas para cada entidad, el mismo se obtiene de multiplicar el parámetro de referencia por la cantidad de residuos anuales producidos, mientras que la equivalencia energética resulta del producto entre dicho volumen y la equivalencia energética en kilocalorías de 1 metro cúbico de biogas (5335 kcal/m³biogas). Considerando conservadoramente para el año de 1995, la misma equivalencia energética del volumen anual de biogas para 1992, este valor alcanza el 2.44% del consumo energético nacional para aquel año. Por último, es necesario mencionar que la tecnología de captación de biogas para desechos sólidos, consiste en sistemas de control de biogas por medio de la construcción de pozos de captación que se construyen en la periferia de los rellenos sanitarios de los que, en el país, existen 97 (SEDESOL e INE, 1993).

6. 2. 5) Recursos de Origen Marino.- México dispone aproximadamente de 11500 km de litoral; 3 millones de km² de zona económica exclusiva; 358000 km² de plataforma continental y de más de 2.9 millones de hectáreas de aguas interiores, mismas que incluyen 1.6 millones de lagunas costeras (INEGI y CONAL, 1996). Aunada a la presencia de fenómenos oceanográficos, su posición geográfica determina una gran densidad y variedad de especies, tanto en sus mares como en sus aguas interiores.

Como país productor, México posee las siguientes regiones pesqueras: Litoral del Pacífico (Norte y Sur), Litoral del Golfo y el Caribe, y Entidades sin Litoral (op. cit.). La industria pesquera nacional se integra por más de 400 plantas con capacidad promedio de 1.028 ton/h (SEPESCA, 1990). Los principales procesos de transformación son el congelado, el enlatado, la fabricación de harina y aceite de pescado, y el producto seco - salado. En el cuadro 6. 14. se muestra la captura pesquera para el periodo 1990 - 95.

Tabla 6. 14. Captura pesquera en peso vivo y por destino. Periodo 1990-95 (Toneladas). (Tomado de INEGI y CONAL, 1996).

DESTINO AÑO	CONSUMO HUMANO DIRECTO	CONSUMO HUMANO INDIRECTO	INDUSTRIA	TOTAL
1990	1,043,610	340,615	62,918	1,447,143
1991	1,012,961	384,710	55,605	1,453,276
1992	963,114	220,441	62,870	1,246,425
1993	965,900	164,632	61,068	1,191,600
1994	1,005,754	217,116	37,149	1,260,019
1995	1,034,382	320,509	49,493	1,404,384

Si del cuadro anterior y para el año de 1995, calculamos los porcentajes según su destino y con respecto a la captura total, la estructura de la producción para ese año indica que 73.65% se destinaba al consumo humano directo; 22.82% a consumo humano indirecto, y solo 3.52% se dirigía al uso industrial (op. cit.).

Si consideramos que la mayor disponibilidad y consumo se da en la presentación de fresco - enhielado (más del 60%) y que la mayoría o totalidad de los desechos resultantes de la comercialización directa, en mercados y centrales pesqueras en esta presentación, se utilizan industrialmente para elaborar harina de pescado con fines nutricionales destinada a los animales domésticos (aves, gatos, etc.) (SEPESCA, 1992), puede entonces reconocerse que los desechos provenientes de los recursos pesqueros en México, tienen un uso final alimentario y no energético.

Sin embargo, el realizar un estimativo energético de estos recursos, tomando en cuenta su implementación a casos específicos y localizados, con un uso final de esta naturaleza, permitiría aproximarnos a una solución viable en el manejo y disposición de estos recursos y sus desechos. Por ejemplo, para realizar una estimación con fines energéticos de los desechos generados en el mercado de la Nueva Viga en el D. F., para el año de 1996, es necesario conocer el volumen de productos pesqueros que ingresó en ese año en este centro de acopio, datos que se muestran en Tabla 6. 15.

Tabla 6. 15. Volumen de ingreso de productos pesqueros al mercado de La Nueva Viga (Toneladas), por litoral y producto, durante 1996. (Tomado de SNIM, 1996).

PRODUCTO	L I T O R A L		(Toneladas)
	GOLFO DE MEXICO	PACIFICO	TOTAL ¹
Escama* de Mar	7,579.6	1,911.9	9,491.5
Escama* de Agua Dulce	997.2	1,392.1	2,389.3
Otros Procesados	275.8	364.5	640.3
Especies de Temporada	1,301.7	1,609.8	2,911.5
Crustáceos	654.8	447.0	1,101.8
Moluscos	4,500.5	3,165.0	7,665.5
TOTAL ¹	15,309.6	8,890.3	24,199.9

¹Cifras redondeadas que no incluyen importaciones.

* El término escama en la tabla anterior se refiere exclusivamente al pescado.

Del total del volumen de productos pesqueros que ingresan a este lugar, poco más del 49% (11880.8 ton) corresponden a las escamas de mar y agua dulce de ambos litorales. También resulta evidente que el litoral del Golfo de México contribuye con más del 63% (15,309.6 ton) del volumen total que llega a este mercado. Según datos recogidos en el sitio, son aproximadamente 10 ton diarias de residuos pesqueros las que se originan en esta central, resultando aproximadamente al año cerca de 3650 ton de desechos. La cantidad disponible de energía en estos residuos que puede obtenerse mediante un proceso fermentativo, depende del tipo de producto (clase de escama, crustáceo, etc.), clase de microorganismo utilizado y el proceso específico que se trate, entre otras condiciones.

Para una estimación gruesa de un uso final energético de estos recursos se toman en cuenta las siguientes consideraciones: (a) se supone que todos los desechos son exclusivamente pescado, y (b) debe conocerse la composición tanto porcentual, como en unidades de masa del producto. Esta última condición se representa en la Tabla 6. 16.

Tabla 6.16. Composición en porcentaje y en masa del kg de pescado.

Substancia	Composición Porcentual (%)	Promedio (%)	Composición en Masa (gramos)
A G U A	28 -- 90	74.8	748
P R O T E I N A	6 -- 28	19.0	190
G R A S A	0.2 -- 6.4	5.0	50
C E N I Z A	0.4 -- 1.5	1.2	12

Si se toman los datos de la composición en masa de esta tabla y se extrapolan para considerar 1 tonelada de pescado, entonces las cantidades respectivas de proteína y grasa serían: $(10^3 \text{ kg/ton}) (190 \text{ g de proteína/kg}) = 190 \times 10^3 \text{ g de proteína/ton} = 190 \text{ kg de proteína/ton}$, y $(10^3 \text{ kg/ton}) (50 \text{ g de grasa/kg}) = 50 \times 10^3 \text{ g de grasa/ton} = 50 \text{ kg de grasa/ton}$. Es decir, se tienen 190 kg de proteína y 50 kg de grasa por cada tonelada de pescado.

Considerando la ruta bioquímica de un proceso fermentativo que descompone al producto hasta bióxido de carbono y agua, la cantidad de energía que se obtiene de cada substancia es de 4 kcal/g de proteína, 3.75 kcal/g de carbohidrato y 9 kcal/g de grasa. La mayoría de los peces son ricos en proteínas y algunos también en grasas, pero casi todos son pobres en carbohidratos. Si utilizamos los valores calóricos anteriores para proteínas y grasas, entonces para una tonelada de producto tendríamos:

$$a) \text{ Proteína} = (190 \times 10^3 \text{ g de proteína/ton}) (3.75 \text{ kcal/g}) = 712.5 \times 10^3 \text{ kcal/ton}$$

$$b) \text{ Grasa} = (50 \times 10^3 \text{ g de grasa/ton}) (9 \text{ kcal/g}) = 450 \times 10^3 \text{ kcal/ton}$$

Sumando ambas aportaciones resulta igual a: $1,162.5 \times 10^3$ kcal/ton. Si multiplicamos por la cantidad de producto originada durante todo el año en la central de la Nueva Viga (3650 toneladas) se obtienen 4.243×10^9 kcal = 4.243 Teracal. Dicho valor no resulta significativo desde el punto de vista energético pues resulta mayor su valor agregado si, como ya se mencionó, se le da un uso final alimentario.

VII) PROPUESTA DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN UNA COMUNIDAD RURAL TIPO.

7. 1) SITIO DE ESTUDIO.

La zona considerada para el estudio de una aplicación de las tecnologías de conversión biomásica, especialmente de la producción de biogas, está ubicada en la región oriental del país, específicamente en el estado de Puebla. Comprende un área del municipio de Xiutetelco cuya cabecera municipal - San Juan Xiutetelco - está localizada en los $19^{\circ} 47' N$ y los $97^{\circ} 19' W$, a una altitud de 1920 m. Esta cabecera está prácticamente unida a la del municipio de Teziutlán, formando ambas un importante polo de desarrollo económico potencial (INEGI, 1996). Fisiográficamente se localiza en la provincia X del Eje Neovolcánico, muy cerca del límite de la provincia fisiográfica V de la Sierra Madre Oriental, siendo la elevación principal más cercana la del cerro Chignautla con 2560 m. s. n. m. (op. cit.).

El clima de la región es templado húmedo con lluvias todo el año; la temperatura media y la precipitación anual son de $16.4^{\circ} C$ y 2301.7 mm, respectivamente. La zona se encuentra dentro de la región hidrológica RH27, constituida principalmente por los ríos Tuxpan y Nautla (INEGI, 1996). Debido a su ubicación geográfica y fisiográfica y a sus condiciones climatológicas, la región permite un manejo regular del recurso agua.

7. 1. 1) Actividades Económicas.- La mayoría de la superficie de labor (99%) es de temporal, cosechando cultivos cíclicos tales como maíz, frijol, trigo, cebada, haba y papa, además de frutales como el manzano, ciruelo, aguacate, pera y durazno. Se cuenta con existencias de ganado bovino, ovino, porcícola y equino, así como con una población avícola importante (INEGI, 1991).

La mayoría de las unidades productoras de este sector se dedican a la recolección de leña, aunque muy pocas se ocupan de la explotación de especies maderables de coníferas tales como el pino (*Pinus montezumae*), oyamel (*Abies religiosa*) y cedro (*Cupressus benthami*), y algunas latifoliadas como son el encino (*Quercus rugosa*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Niembro, 1986).

Sumando ambas aportaciones resulta igual a: $1,162.5 \times 10^3$ kcal/ton. Si multiplicamos por la cantidad de producto originada durante todo el año en la central de la Nueva Viga (3650 toneladas) se obtienen 4.243×10^9 kcal = 4.243 Teracal. Dicho valor no resulta significativo desde el punto de vista energético pues resulta mayor su valor agregado si, como ya se mencionó, se le da un uso final alimentario.

VII) PROPUESTA DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN UNA COMUNIDAD RURAL TIPO.

7. 1) SITIO DE ESTUDIO.

La zona considerada para el estudio de una aplicación de las tecnologías de conversión biomásica, especialmente de la producción de biogas, está ubicada en la región oriental del país, específicamente en el estado de Puebla. Comprende un área del municipio de Xiutetelco cuya cabecera municipal - San Juan Xiutetelco - está localizada en los $19^{\circ} 47' N$ y los $97^{\circ} 19' W$, a una altitud de 1920 m. Esta cabecera está prácticamente unida a la del municipio de Teziutlán, formando ambas un importante polo de desarrollo económico potencial (INEGI, 1996). Fisiográficamente se localiza en la provincia X del Eje Neovolcánico, muy cerca del límite de la provincia fisiográfica V de la Sierra Madre Oriental, siendo la elevación principal más cercana la del cerro Chignautla con 2560 m. s. n. m. (op. cit.).

El clima de la región es templado húmedo con lluvias todo el año; la temperatura media y la precipitación anual son de $16.4^{\circ} C$ y 2301.7 mm, respectivamente. La zona se encuentra dentro de la región hidrológica RH27, constituida principalmente por los ríos Tuxpan y Nautla (INEGI, 1996). Debido a su ubicación geográfica y fisiográfica y a sus condiciones climatológicas, la región permite un manejo regular del recurso agua.

7. 1. 1) Actividades Económicas.- La mayoría de la superficie de labor (99%) es de temporal, cosechando cultivos cíclicos tales como maíz, frijol, trigo, cebada, haba y papa, además de frutales como el manzano, ciruelo, aguacate, pera y durazno. Se cuenta con existencias de ganado bovino, ovino, porcícola y equino, así como con una población avícola importante (INEGI, 1991).

La mayoría de las unidades productoras de este sector se dedican a la recolección de leña, aunque muy pocas se ocupan de la explotación de especies maderables de coníferas tales como el pino (*Pinus montezumae*), oyamel (*Abies religiosa*) y cedro (*Cupressus benthami*), y algunas latifoliadas como son el encino (*Quercus rugosa*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Niembro, 1986).

7. 1. 2) Condiciones Sociales y Económicas.- El acceso a la zona es posible aunque no existe una adecuada infraestructura vial. El municipio cuenta con un sistema de agua potable y uno de alcantarillado, ubicándose ambos en la cabecera municipal y resultando insuficientes para la demanda del servicio (INEGI, 1992).

El nivel educativo puede catalogarse como de bajo a medio, existiendo los niveles de primaria y secundaria normales y para adultos, presentándose también tareas de alfabetización y educación bilingüe para los indígenas; hay también una escasa tecnificación de las actividades productivas y de la vida doméstica (op. cit.) .

Los recursos energéticos mas usados son la leña, carbón de leña y residuos agroforestales destinados a calefacción y cocción de alimentos; la energía eléctrica tiene un segundo lugar en el consumo, dirigiéndose básicamente al funcionamiento de artículos electrodomésticos (radio, T. V., refrigerador, etc.) cuando los hay. Las líneas de distribución de electricidad no llegan a todo el municipio, quedando sin el servicio algunas localidades pequeñas y lejanas a la cabecera municipal (Idem).

De todo lo anterior puede concluirse que existe un importante potencial biomásico relativamente concentrado en algunas áreas de la región, y que puede ser empleado con fines energéticos.

7. 1. 3) Caracterización de la unidad económica.- El lugar al que está destinada la implementación del proyecto, es un predio agrícola ejidal que tiene una extensión aproximada de 715 ha, de las que según su destino se dividen en: (a) forestal (200 ha), (b) agrícola (250 ha), (c) pastos (250 ha), y (c) frutales (15 ha). El resto del terreno está ocupado por lecho rocoso, caminos y viviendas, correspondiendo su estructura económica al de una zona rural con bajo nivel de desarrollo. El predio no cuenta con energía eléctrica, drenaje, ni servicio de agua potable; las actividades productivas típicas que se realizan son la agricultura ; la avicultura en mediana escala, pues se cuenta con un criadero de 880 aves (gallinas, pollos, pollitos y guajolotes); la crianza de 210 cerdos estabulados y la de 30 vacas y 25 novillos para explotación carnea y lechera. Dentro del predio viven 8 familias, con un total de 46 personas que habitan 8 viviendas independientes.

7. 1. 4) Clima.- La tendencia climática es característica de una zona de clima templado (Figura 7. 1) (INEGI, 1996) con una pluviosidad constante a lo largo del año, pero más abundante de junio a octubre. Es importante señalar que la humedad presente en el medio favorece la opción de un tratamiento anaeróbico de los desechos.

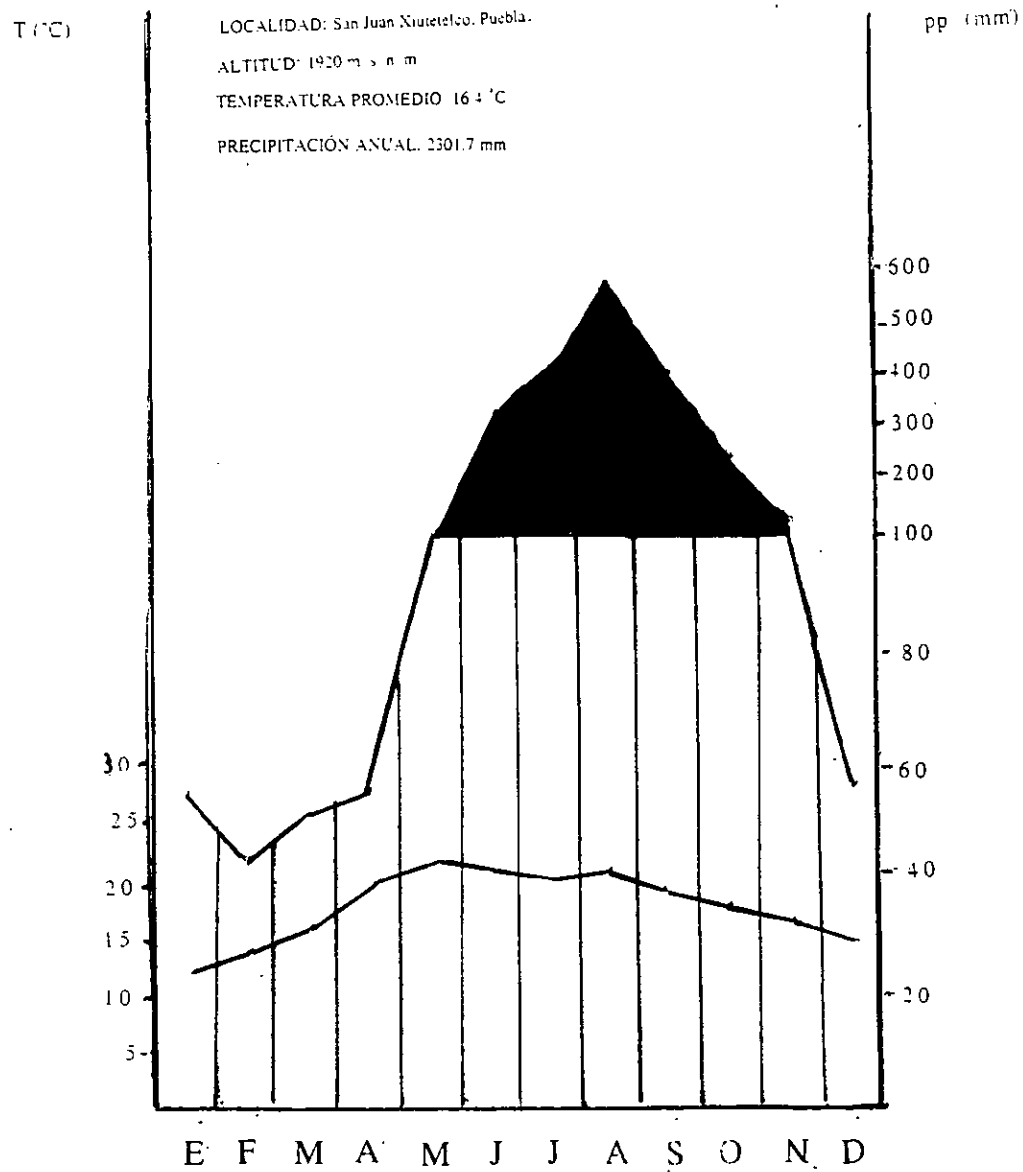


Figura 7. 1. Climograma de la zona rural seleccionada.

7.2) OBJETIVOS DEL PROYECTO ESPECÍFICO DE LA ZONA RURAL.

El proyecto tiene el propósito de utilizar de la manera más eficiente posible el recurso biomásico, representado en los residuos animales y avícolas y del que se puede obtener biogas. Esta producción pretende resolver la demanda energética doméstica y las derivadas de la crianza animal y avícola. Además, se persigue instalar un equipo motobomba accionado con biogas, con el objeto de satisfacer la demanda de agua doméstica, la destinada para el consumo y limpieza animal, así como de regadío durante la temporada de baja precipitación.

De esta manera se pretende mejorar el uso de los recursos disponibles, escogiendo algunas alternativas de bajo costo relativo que signifiquen el inicio del autoabastecimiento energético. Con todo esto se trata de elevar el nivel de vida de la comunidad, transformándola en una importante unidad económica rural.

7.3) ESTRUCTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.

La demanda energética del predio está estructurada de la manera siguiente:

- a) Necesidades Domésticas: iluminación, uso de electrodomésticos, cocina (para cocción de alimentos), agua a domicilio, y calefacción.
- b) Necesidades Ganaderas: iluminación, calefacción, agua para beber y de limpieza.
- c) Necesidades del Agro: regadío

La demanda energética varía de acuerdo a la hora del día y el mes del año, según las características climáticas descritas en el punto 7.1.3. En la tabla 7.1 se halla la distribución mensual y horaria de la demanda energética. De este cuadro puede inferirse la necesidad horaria de energía al día, ya sea durante todo el año o solo en determinados meses.

Las necesidades energéticas para calefacción, tanto doméstica como ganadera y avícola, sólo se presentan en la temporada invernal - periodo de mediados de noviembre a mediados de febrero.

Para el caso del bombeo de agua, este se lleva a cabo durante todo el año 2 horas diarias, pero durante la temporada de estiaje - periodo de mediados de diciembre a abril - se incrementa a 10 horas al día con el objeto de realizar actividades de regadío (ver Tabla 7.1).

Tabla 7. 1. Distribución mensual y horaria de la demanda energética.

DEMANDA	FRECUENCIA MENSUAL (meses)	FRECUENCIA HORARIA (h/día)
a) Doméstica:		
Iluminación	T. A. ¹	6
Electrodomésticos	T. A.	6
Cocina	T. A.	6
Agua (Bombeo)	T. A.	1
Calefacción	N, D, E, F.	6
Calentamiento Agua	T. A.	2
b) Ganadera y Avícola:		
Iluminación	T. A.	40 ²
Calefacción	N, D, E, F.	12
Agua (Bombeo)	T. A.	1
Calentamiento Agua	T. A.	6
c) Agrícola:		
Regadío	D, E, F, M, A.	8

¹ T. A. = Todo el año, N = Noviembre, D = Diciembre, E = Enero, F = Febrero,

M = Marzo, A = Abril

² Incluye iluminación de aves, vacunos, cerdos y pasillo de gallineros.

7.4) MODELO ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

La fuente primaria de energía es la radiación solar, de la que solo una mínima fracción es empleada y transformada en crecimiento neto de las plantas. El esquema de la figura 7. 2 representa al predio agrícola como un sistema abierto que intercambia energía y masa con su medio ambiente.

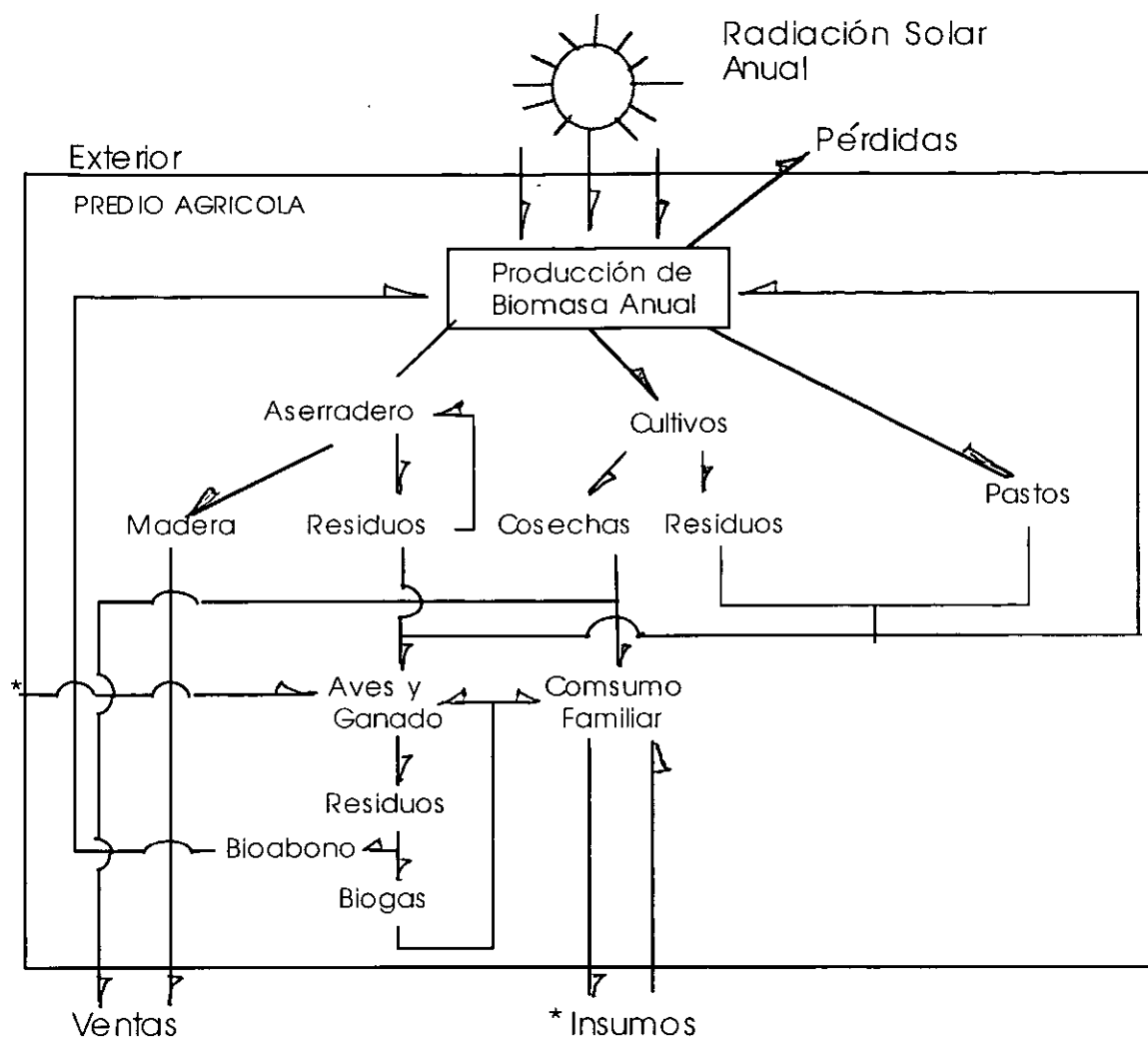


Fig. 7. 2. Esquema del modelo energético de la producción de biomasa.

La energía luminosa solar a lo largo del año es captada por fotosíntesis y almacenada en la producción de biomasa anual. Por medio de procesos productivos tales como la silvicultura, la agricultura y la ganadería, la biomasa original se transforma en productos mercantiles (madera, maíz, pacas de pasto, carne, leche, etc.) y en subproductos o residuos. Los primeros se canalizan hacia el consumo familiar interno y, además, también hacia afuera del predio en forma de mercancías que se venden en el mercado local y foráneo. Los segundos se utilizan de dos maneras distintas: por un lado, los residuos de cultivos y el aserradero junto con la producción de pastos, son útiles para el mantenimiento y la manutención de aves y ganado; por otro lado, los residuos animales principalmente en forma de estiércol, se someten a un proceso de conversión energética adecuado (en este caso, fermentación anaeróbica) mediante la tecnología correspondiente (biodigestor), obteniendo como resultado la producción de bioabono que es útil como coadyuvante para producir biomasa, además de la generación de

biogas como combustible de bajo costo, que satisface en gran medida las necesidades energéticas del predio. Este proceso y tecnología de conversión energética, permite un ahorro sustancial en cuanto a la compra de insumos, sobre todo en lo que concierne a combustibles y fertilizantes. A continuación, se elabora una estimación gruesa del rendimiento energético global en la producción de biomasa dentro del predio, tanto de aquella de origen forestal como de la que proviene de las actividades agrícolas:

Ya que la producción de biomasa depende de la energía luminosa del sol, es necesario conocer la cantidad de radiación solar diaria promedio que incide en la superficie del predio. Estos datos, para periodos mensuales en el estado de Puebla, se registran en la tabla 7. 2 en megajoules por metro cuadrado al día ($\text{MJ}/\text{m}^2 \text{ día}$) (Almanza y colab., 1992).

TABLA 7. 2. Radiación Solar Global diaria mensual para el estado de Puebla. (Tomado de Almanza y colab., 1992).

M E S	R a d i a c i ó n ($\text{MJ}/\text{m}^2 \text{ día}$)	M E S	R a d i a c i ó n ($\text{MJ}/\text{m}^2 \text{ día}$)
Enero	17.6	Julio	20.9
Febrero	19.8	Agosto	21.0
Marzo	22.2	Septiembre	18.8
Abril	22.9	Octubre	17.9
Mayo	22.1	Noviembre	17.0
Junio	20.4	Diciembre	15.9

Sumando todos los valores y dividiendo entre el número de meses, se obtiene el promedio anual de la radiación solar global calculada como energía incidente por m^2 , que resulta ser igual a $19.7 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día} = 4708 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ día}$ (considerando $0.238 \text{ cal} = 1\text{J}$). A partir de este promedio anual se obtiene la cantidad de energía total en un año como $(4708 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ día}) (365 \text{ días/año}) = 1,718,420 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ año} = 1.718 \times 10^6 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ año}$.

Si se considera que el crecimiento del área forestal (200 ha) es aproximadamente constante a lo largo del año, y que su rendimiento productivo es de 7.5 ton/ha año, asignando un equivalente energético de $3.5 \times 10^6 \text{ kcal}/\text{ton}$ de biomasa entonces el equivalente energético anual de tal producción biomásica es igual a $(200 \text{ ha}) (7.5 \text{ ton de biomasa}/\text{ha año}) (3.5 \times 10^6 \text{ kcal}/\text{ton de biomasa}) = 5.25 \times 10^9 \text{ kcal}/\text{año}$. El equivalente energético de 1 kg de leña es igual a $3.55 \times 10^3 \text{ kcal}$ (Balance Nacional de Energía de 1996). Si se calcula el rendimiento energético global en la producción de biomasa forestal, definido como:

$h = \frac{\text{Energía producida como biomasa} \times 100}{\text{Energía solar incidente}}$ (Speeding, 1979) se tendrá que:

Energía solar incidente

$$h = \frac{(5.25 \times 10^9 \text{ kcal/año}) (100)}{(1.71 \times 10^6 \text{ kcal/m}^2 \text{ año}) (10^4 \text{ m}^2/\text{ha}) (200 \text{ ha})}$$

$$h = \frac{(5.25 \times 10^{11} \text{ kcal/año})}{(342 \times 10^{10} \text{ kcal/año})} = \frac{52.5}{342} = 0.15\%$$

Para la estimación del rendimiento energético global en la producción de biomasa de los cultivos cíclicos debe tomarse en cuenta que existen dos ciclos al año: el de primavera - verano y el de otoño - invierno.

El primero comprende de abril a septiembre aproximadamente, mientras que el segundo va de octubre a marzo. Para calcular el rendimiento antes dicho, inicialmente debe obtenerse el promedio de la energía solar incidente para el periodo de cada ciclo de cultivo:

- Primavera - Verano = 21.01 MJ/m²día (de abril a septiembre).

- Otoño - Invierno = 18.40 MJ/m²día (de octubre a marzo).

Los valores anteriores expresados en kcal/m²año son:

- Primavera - Verano = (21.01 MJ/m²día) (10⁶ J/1MJ) (0.238 cal/1J)
= (5.0 x 10⁶ cal/m²día) (152.5 días/año)
= 0.76 x 10⁶ kcal/m²año.

- Otoño - Invierno = (18.40 MJ/m²día) (10⁶ J/1MJ) (0.238 cal/1J)
= (4.37 x 10⁶ kcal/m²día) (152.5 días/año)
= 0.66 x 10⁶ kcal/m²año.

Sumando ambas contribuciones nos da un total de 1.42 x 10⁶ kcal/m²año que representa la energía solar global y total incidente durante los meses de cultivo. Si suponemos un rendimiento productivo de 7.2 ton de biomasa/ha de cultivo, con un equivalente energético de 3.5 x 10⁶ kcal/ton de biomasa, entonces el equivalente energético para la producción biomásica total anual del área agrícola (250 ha) es de (250 ha) (7 ton biomasa/ha año) (3.5 x 10⁶ kcal/ton biomasa) = 6.1 x 10⁹ kcal/año.

Por lo tanto, el rendimiento energético global en la producción de biomasa en el área agrícola será de:

$$h = \frac{(6.1 \times 10^9 \text{ kcal/año}) (100)}{(1.42 \times 10^6 \text{ kcal/m}^2 \text{ año}) (10^4 \text{ m}^2/\text{ha}) (250 \text{ ha})} = \frac{6.1 \times 10^{11}}{355 \times 10^{10}} = 0.17 \%$$

7. 5) CUANTIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE POTENCIA.

El cálculo de las necesidades de potencia se hará considerando los registros de demanda energética descritos anteriormente. A continuación se analizará la demanda que puede ser satisfecha por la eventual producción de biogas, utilizando secundariamente la combustión directa de residuos forestales. La tabla 7. 3 muestra la estimación hipotética de las necesidades energéticas horarias de una comunidad rural tipo, basada en las que se enlistan a continuación:

a) Necesidades Domésticas:

* Iluminación.- Si se considera el uso por familia de 3 focos de 50 W c/u, entonces se gastarán un total de (50 W) (3 focos) (8 viviendas) = 1200 W, es decir de 1.2 kW. Suponiendo un periodo de uso 6 h, entonces la potencia total sera de (6 hrs) (1.2 kW) = 7.2 kW.

* Cocina (Cocción de alimentos).- Si se toma en cuenta un consumo de 1.5 m³ de biogas/día familia, éste equivale a 7 500 kcal/día familia; para la comunidad entera este consumo sería de un total de (1.5 m³ biogas) (8 familias) (5000 kcal/m³) = 60000 kcal/día. Suponiendo un periodo de cocción diario de 6 h/día familia la potencia total equivaldría a (60000 kcal/día) (día/ 6 h) (1 kW h/860 kcal) = 11.6 kW.

* Electrodomésticos.- La potencia total de aparatos de radio y t. v. es de 0.5 kW. Para un periodo hipotético de uso de 5 h/día familia el consumo sería de (0.5 kW) (5 h/día familia) = 2.5 kW/día familia; el total en la comunidad para éste tipo de electrónicos estaria en (2.5 kW/día familia) (8 familia) = 20 kW. Si además se considera el uso de una plancha eléctrica cuya potencia es de 4 kW teniendo un periodo de uso 0.5 h/día familia, entonces el total par éste aparato sería de (4 kW) (1 h/día familia) (8 familia) = 32 kW, resultando una potencia total de electrodomésticos de (32 + 20) kW = 52 kW.

* Calentamiento de agua.- Se considera un gasto de 100 l de agua/día familia, alcanzando una temperatura de 50 °C. El agua se suministra desde la cisterna a unos 14 °C. Por lo tanto, el calor necesario es de $Q = m C_p (t_2 - t_1) = (100) (1) (36) = 3600$ kcal/día familia = (3600 kcal/día familia) (8 familias) = 28800 kcal/día, donde Q es el calor requerido, m es la cantidad de agua a calentar, Cp es la capacidad calorífica del agua y t₁ y t₂ son las temperaturas inicial y final del líquido. Si se considera un periodo de uso de 4 h/día entonces la potencia total sería del orden de (28800 kcal/día) (1 día/4 h) = 7200 kcal/h = 8.36 kW.

Hora	Iluminación					Cocina	Calefacción		Electro-Domésticos		Bombeo Agua		Calentam. Agua	
	Domicil.	Vacunos	Aves	Cerdos	Pasillo Gallinas		Domicil	Cerdos	Radio - T. V.	Plancha	Domicil	Regadio	Domicil	Otro
1			X											
2			X											
3			X											
4			X											
5			X											
6	X	X	X	X	X		X	X			X		X	
7	X	X	X	X		X	X	X		X				X
8		X	X	X		X		X						X
9		X	X											X
10			X											X
11			X			X								
12			X			X								
13			X						X					
14			X											
15			X											
16			X							X				
17			X									X		
18			X									X		
19	X	X	X	X		X						X		
20	X	X	X	X	X	X			X			X	X	
21	X	X	X	X	X		X	X	X			X		X
22	X		X				X	X				X		X
23			X				X	X				X		
24			X				X	X				X		
	T.A.	T.A.	T.A.	T.A.	T.A.	T.A.	ND EF	ND EF	T.A.	T.A.	T.A.	ND EF MA	T.A.	T.A.

Tabla 7. 3. Estimación hipotética de las necesidades energéticas

* Calefacción.- Las necesidades son de unos 8 kW y el periodo de uso de 3 a 12 h/día de acuerdo a la temporada del año.

b) Necesidades avícolas y ganaderas:

* Iluminación:

Gallineros.- Si cada gallinero posee las dimensiones siguientes: 0.4 m ancho; 0.4 m largo; 1.6 m altura con 4 aves en cada uno y se considera una superficie de 0.16 m^2 para cada gallinero, entonces la superficie total para 220 gallineros sería de 35.2 m^2 . Si el consumo eléctrico estimado para un periodo de 24 h es de 0.05 kWh/ave día, entonces la potencia total sería de $(0.05 \text{ kWh/ave día}) (880 \text{ aves}) (1 \text{ día}/24 \text{ h}) = 1.83 \text{ kW}$. Además, debe considerarse el uso de 2 focos de 40 W cada uno para la iluminación de los pasillos de los gallineros, con una potencia total de 0.08 kW y para un periodo de consumo de 1 h.

Establo de vacunos.- La superficie total de éste es de 150 m^2 presentando necesidades de iluminación de unos 3 W/m^2 . Para un periodo de consumo de 6 h la potencia total sería de 0.450 kW.

Establo de porcinos.- La superficie total de esta instalación es de 200 m^2 , mientras que sus necesidades de iluminación son de 3 W/m^2 para un periodo de consumo de 6 h, resultando una potencia total de 0.6 kW.

* Calefacción:

Cerdos.- EL cálculo se considera para el estado estacionario del fluido gaseoso, tomando en cuenta la temperatura para la situación climática más extrema ($12.2 \text{ }^\circ\text{C}$ en enero).. El volumen de aire a calentar, si se considera un criadero de 200 m^2 de planta por 2 m de altura, es de aproximadamente 400 m^3 de aire. Si la temperatura a alcanzar es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ entonces la diferencia de temperaturas sería de $13.3 \text{ }^\circ\text{C}$. Si utilizamos este dato junto con los del calor específico de aire a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($C_p = 0.24 \text{ kcal/kg}$) y el del peso molecular del mismo ($M = 0.028 \text{ kg/mol}$), entonces para calcular la cantidad de calor necesaria para calentar el volumen dado de aire, puede utilizarse la formula del la ley del gas ideal ($PV = nRT$) y la de peso formula ($M = m/n$).

Donde P es la presión, V es volumen, n es el número de moles, R la constante universal de los gases, T la temperatura, M el peso fórmula y m la masa del gas. Despejando n de ambas fórmulas e igualando:

$$\frac{m}{M} = \frac{PV}{RT}, \text{ reacomodando M y V, } \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} \text{ donde } m/V = \text{Densidad (D)}$$

Por lo tanto: $D = PM/RT$. Si tenemos que: $P = 1 \text{ atm}$; $M = 0.028 \text{ kg/mol}$ y $T = 12.2 \text{ }^\circ\text{C} = 285.2 \text{ }^\circ\text{K}$, entonces la densidad del aire en el establo resultaría de $D = (1 \text{ atm}) (0.028 \text{ kg/mol}) / (0.082 \text{ atm lt/mol } ^\circ\text{K}) (285.2 \text{ }^\circ\text{K}) = 1.19 \times 10^{-3} \text{ kg/lt} = 1.19 \text{ kg/m}^3$, mientras que la masa de aire a calentar sería de $m = DV = (1.19 \text{ kg/m}^3) (400 \text{ m}^3) = 476 \text{ kg}$ de aire. Con este resultado es posible calcular el calor a suministrar que es igual a $Q = m C_p (t_2 - t_1) = (476 \text{ kg}) (0.24 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) (13.3 \text{ }^\circ\text{C}) = 1519.3 \text{ kcal}$ (ver pg. 71). Si cada hora, por ventilación y pérdidas debe calentarse una cantidad de aire 2 veces igual al volumen del recinto, entonces el calor total a suministrar sería de $(1519.3 \text{ kcal}) (2) = 3038.7 \text{ kcal}$, que en unidades de potencia resultan en $(3038.7 \text{ kcal}) (1 \text{ kW}/860 \text{ kcal}) = 3.53 \text{ kW}$.

El tiempo de calentamiento es de 12 h, por lo que la potencia total diaria durante el periodo invernal es de $(3.53 \text{ kW}) (12 \text{ h}) = 42.36 \text{ kW}$

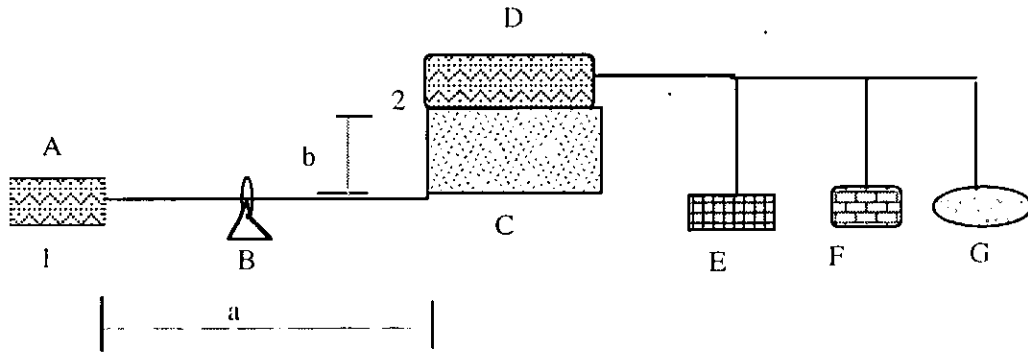
Vacunos .- Se considera que no necesitan calefacción.

*Calentamiento de agua.- El agua para usos diversos (ordeña, limpieza, etc.) se estima en unos 150 lt diarios, los que a partir de $14 \text{ }^\circ\text{C}$ deben alcanzar la temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ por lo cual el calor a suministrar es de $(150) (1) (36) = 5400 \text{ kcal/día}$. Si el periodo de uso diario es de 4 h entonces la potencia total sería de $5400/4 = 1350 \text{ kcal/h} = 1.5 \text{ kW}$.

c) Necesidades Agrícolas:

Bombeo de agua.- Es importante aclarar que aquí se considera también el suministro de agua para las necesidades animales y domésticas, y no exclusivamente agrícolas. El consumo teórico total diario de la comunidad es: familias = $4 \text{ m}^3/\text{día}$, animales = $5 \text{ m}^3/\text{día}$, limpieza de establos = $6 \text{ m}^3/\text{día}$, y regadío de árboles frutales = $80 \text{ m}^3/\text{día}$. De acuerdo a los datos de la tabla 7. 1, se tendrá una distribución del consumo incrementada en la temporada de estiaje para regar los árboles frutales. El consumo total sin regadío es de $15 \text{ m}^3/\text{día}$, pero considerándolo es de $95 \text{ m}^3/\text{día}$. En la comunidad se dispone de un estanque con capacidad aproximada de 60 m^3 que actúa como cisterna.

Según la figura 7. 3 el agua debe bombearse desde un manantial hacia la cisterna que se encuentra a unos 30 m de distancia y a 15 m de elevación con respecto del plano del manantial, sobre una pequeña loma. Las viviendas, establos y el terreno de los árboles frutales se hallan prácticamente al mismo nivel que el manantial, por lo que el agua llega a ellos desde el estanque por gravedad.



A = Manantial ; **B** = Bomba ; **C** = Loma ; **D** = Cisterna ; **E** = Establos
F = Viviendas ; **G** = Terreno ; **a** = Distancia entre A y C ; **b** = Altura entre A y D
 * A, E, F y G se encuentran al mismo nivel, y en desnivel con respecto a D.

Figura 7. 3. Disposición de la fuente de agua con respecto a la comunidad.

Para conocer la potencia de la bomba se realiza un balance de energía entre los puntos 1 y 2, correspondientes a la ubicación del manantial y la cisterna respectivamente:

$$E_{m_1} = E_{m_2} \quad \text{donde } E_m \text{ es la energía mecánica en los puntos considerados.}$$

$$\text{Si } E_m = Zg/gc + V^2/2gc + P/d + wf \quad \text{donde:}$$

$$Zg/gc = \text{Energía potencial} \quad ; \quad V^2/2gc = \text{Energía cinética}$$

$$P/\rho = \text{Energía de presión} \quad ; \quad wf = \text{Trabajo}$$

Para los puntos considerados dicho balance se representa como:

$$Z_1g/gc + V_1^2/2gc + P_1/\rho + wf = Z_2g/gc + V_2^2/2gc + P_2/\rho + \sum_{i=1}^2 F \quad \text{----- (I)}$$

Donde $\sum_{i=1}^2 F$ representa la sumatoria de la fricción producida por el fluido bombeado dentro de la tubería

Si se tienen los siguientes datos: $Z_1 = 0$; $Z_2 = 50$ ft; $V_1 = 0$; $V_2 = 0$ y $P_1 = P_2 =$ Presión atmosférica; y además los siguientes requerimientos: Gasto volumétrico = $Q = 40$ GPM (galones por minuto) = $0.083 \text{ ft}^3/\text{s} = 2.5 \text{ lt/s}$; diámetro de la tubería = $D = 1$ in; diámetro interno = 0.087 ft; área de la sección transversal = $S = 0.006 \text{ ft}^2$. Puesto que $Z_1 = 0$, V_1 y $V_2 = 0$ y P_1 y P_2 son iguales a la presión atmosférica, entonces el balance se transforma en:

$$wf = Z_2 g / gc^* + \sum_{i=1}^2 F \text{----- (II) que representa el trabajo realizado por el motor de la}$$

bomba y donde $\sum_{i=1}^2 F = V^2 f S L / 2gcD$, expresión que muestra la relación entre:

$$V^2 = \text{Velocidad de flujo} = Q/S$$

* $gc =$ Factor de conversión para unidades de Ingeniería Americana. Se elimina cuando se utilizan unidades del S. I.

$f =$ factor de fricción

$SL =$ Longitud total equivalente

$D =$ Diámetro

CALCULOS:

$$V = \frac{0.083 \text{ ft}^3/\text{s}}{0.006 \text{ ft}^2} = 13.8 \text{ ft/s}$$

Para obtener f se calcula el No. de Reynolds que relaciona la velocidad de flujo (V), el diámetro de la tubería (D) y la densidad (ρ) y viscosidad del fluido (μ), en este caso agua:

$$\text{No. de Reynolds} = Re = V \rho D / \mu$$

$$= \frac{(13.8)(62.3)(0.087)}{0.00067} = 111637$$

Si se considera la instalación de una tubería de acero comercial, entonces el factor f se obtiene de la consulta de tablas en manuales de ingeniería (Foust, et al, 1962) que muestran las curvas de comportamiento del fluido relacionando el No. de Reynolds (Re), la rugosidad relativa (e/D) y el factor de fricción f (Levenspiel, 1993). Para este caso: $e/D = 0.0017$ por lo cual $f = 0.024$. Si la longitud inicial de la tubería de 1 a 2 es de 105 ft, entonces la longitud total equivalente (SL) es igual a 107.65 ft (codos, válvulas, extensiones, etc.). Por lo tanto:

$$\sum_{i=1}^2 F = \frac{(13.8)^2 (0.024) (107.65)}{2 (32.2) (0.087)} = \frac{492.02}{5.6} = 87.86$$

valor que equivale a la suma de la fricción desde el punto 1 al 2. El trabajo del motor de la bomba sería $w_f = 50 + 87.86 = 137.86$ lb ft/s, resultando una potencia de $w = Q \rho = (0.083) (62.3) = 5.17$ lb/s. La potencia teórica sería igual a $(137.86) (5.17) = 712.74$ lb ft/s = $(712.74) (0.0018 \text{ Hp}) = 1.28$ HP. Si la eficiencia del sistema motor-bomba es del 65 %, entonces la potencia real = $1.28 / 0.6 = 1.97$ HP ≈ 2 HP = $(2) (0.7457 \text{ kW}) = 1.49$ kW.

Para un caudal de 2.5 lt o $9 \text{ m}^3/\text{h}$ el tiempo de funcionamiento será de 6 h 40 min para llenar la cisterna. Considerando que la demanda de agua durante los meses sin regadío es de 15 m^3 , entonces la bomba funcionará 6 veces al mes durante el lapso citado (40 h al mes), mientras que en el periodo de regadío, en el que la demanda aumenta hasta 95 m^3 , lo hará durante 10.5 h diarias.

La tabla 7. 4 muestra la potencia total horaria calculada mediante la suma de las potencias de las demandas particulares mencionadas anteriormente. Se han introducido las máximas demandas que ocurren durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, donde el consumo de energía por calefacción y bombeo de agua es simultáneo y por tanto más intenso.

TABLA 7. 4. Potencia total horaria (kW).

H O R A	Potencia Total (kW)	H O R A	Potencia Total (kW)
1	5.3	13	2.3
2	5.3	14	1.8
3	5.3	15	1.8
4	5.3	16	5.8
5	5.3	17	3.0
6	25.2	18	3.0
7	30.7	19	17.1
8	20.3	20	25.7
9	3.7	21	18.8
10	3.3	22	17.2
11	13.7	23	14.5
12	13.7	24	14.5

La figura 7. 4 muestra la gráfica de la distribución de la potencia total horaria a lo largo del día para la temporada invernal, que es la de mayor consumo energético. La potencia media requerida es de unos 10.9 kW. Con el objeto de considerar los rendimientos de cada equipo energético se ha seleccionado un conjunto de instrumentos cuyas características son las siguientes:

a) Necesidades de iluminación.- Estas serán satisfechas con un equipo electrogenerador impulsado con un motor a biogas. Este motor utiliza gas como combustible con una concentración de metano del 60%, con arranque auxiliar a gasolina. Estas unidades están disponibles en potencias de 6.5 y 10.5 HP. El rendimiento global es cercano al 70%.

b) Requerimientos de calefacción y cocina.- Se utilizará la combustión directa del biogas, empleando para ello estufas a gas para el hogar y el establo, y cocinas ordinarias a gas. Los rendimientos promedio son del 65%.

c) Electrodomésticos y bombeo de agua.- Se suministrará energía eléctrica tanto a los equipos domésticos como a la bomba, por medio del mismo sistema descrito en (a).

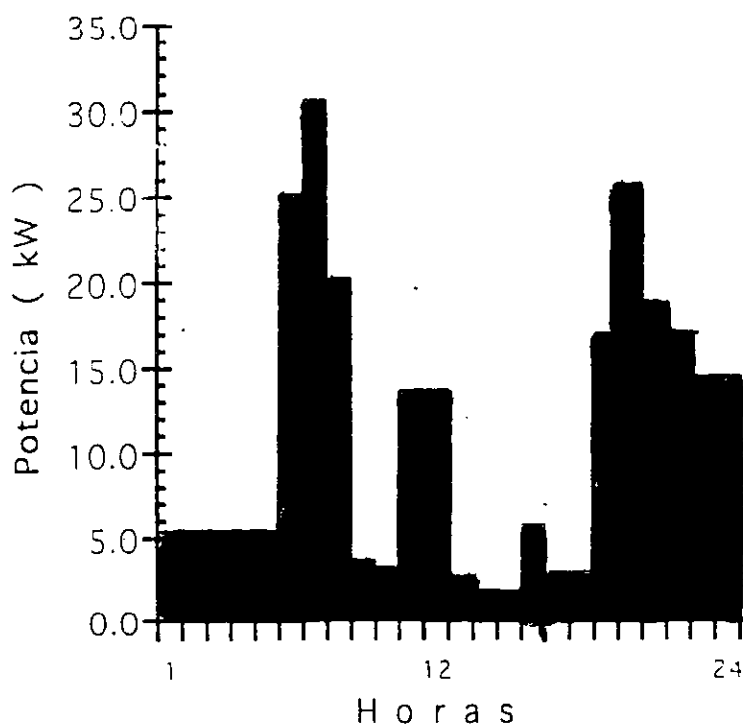


Figura 7. 4. Distribución de la potencia total horaria.

d) Calentamiento de agua.- Se empleará la combustión directa del biogas, utilizando recipientes especiales con termo para la acumulación de agua caliente. El rendimiento de estos sistemas es del 60 al 62%.

Considerando los rendimientos particulares de cada equipo y las potencias requeridas, el rendimiento global promedio es de 66%. Tomando en cuenta el diseño o dimensionamiento del biodigestor, deben preverse pérdidas por ineficiencia de equipos. Como la potencia media requerida es de 10.9 kW, la potencia de diseño (P) se obtiene por:

$$P = \frac{P_m}{n}; \text{ donde } P_m = \text{Potencia media}; n = \text{Rendimiento global}$$

$$\text{Entonces } P = \frac{10.9}{0.66} = 16.5 \text{ kW}$$

Para conocer el volumen del biodigestor resulta más simple calcular la producción de un volumen de biogas a partir de una producción de desechos conocida por un número determinado de animales, considerando la diversidad de éstos. Si no hay concordancia entre potencia requerida y potencia disponible se varía el número de animales hasta que se logran cantidades parecidas.

De acuerdo al esquema descrito, se realizó el cálculo de la producción de biogas del total de animales y aves del predio, procedimiento que se describe en el próximo punto y que es necesario para conocer si las necesidades de potencia quedan satisfechas.

7.6) OFERTA DE BIOGAS Y CALCULO DEL BIODIGESTOR.

La oferta de energía en biogas considera el empleo de los residuos animales y avícolas existentes en el predio. El método de cálculo es el mismo empleado en el punto 6. 2. 3. y solo hay que agregar los datos del rendimiento de producción de biogas para los novillos, que son (Informe de la Corporación Forestal Nacional, Chile, 1985):

Producción de excremento = 5.7 kg/día

Sólidos volátiles = 0.7 kg/día

Producción de biogas = 0.5 m³/kg SV donde SV son Sólidos Volátiles.

Otros datos que son necesarios se muestran en la tabla 7. 5 que señala el peso promedio hipotético de la población animal.

TABLA 7. 5. Peso promedio de la población animal.

A N I M A L	C A N T I D A D	Peso Promedio (kg)
P O R C I N O S	210	50
V A C U N O S	30	300
N O V I L L O S	25	100
A V E S	880	1

En el Apéndice E inciso 11. 5. 1, de manera resumida se exponen los cálculos de la producción de biogas para cada tipo de residuo, obteniéndose para todos los tipos de residuos una su total de 72.5 m³ diarios.

7. 6. 1) Cálculo del volumen del biodigestor.- Para establecer el volumen del equipo, se asume que cada residuo actúa de manera independiente de los otros en cuanto a su actividad fermentativa. Con el objeto de determinar un volumen con cierto grado de sobredimensionamiento con el propósito de obtener un porcentaje de reserva, se aborda el diseño considerando una carga volumétrica del biodigestor igual a la suma de los kilogramos de sólidos volátiles por día, producidos por cada tipo de animal y por metro cúbico de digestor (CESEN, 1980):

$$\begin{aligned} \text{Carga volumétrica} &= \frac{\text{Sólidos Volátiles (S V)}}{\text{m}^3 \text{ de biodigestor}} = \frac{(0.6 + 0.86 + 0.7 + 1.25) \text{ kg S V/día}}{\text{m}^3} \\ &= 3.41 \text{ kg S V/día m}^3 \end{aligned}$$

Para conocer el volumen de diseño necesario para cada tipo de residuo se tiene que:

$V = S V / C v$, donde V = Volumen, $S V$ = Sólidos volátiles, y $C v$ = Carga volumétrica.

Estos cálculos sobre el volumen de diseño para cada tipo de residuo se presentan en el Apéndice E inciso 11. 5. 2, donde aparece que el volumen total de diseño es de 49.51 m³. Si éste se aproxima a 50 m³ entonces la cantidad de biogas por día y por metro cúbico de digestor es de:

$$\begin{aligned} \text{Biogas Total/Volumen Total} &= 72.5 \text{ m}^3/\text{día} / 50 \text{ m}^3 \text{ de digestor} \\ &= \underline{1.45 \text{ m}^3 \text{ de biogas/ día m}^3 \text{ de digestor}} \end{aligned}$$

7. 6. 2) Cálculo del flujo volumétrico de residuos.- Para determinar el flujo volumétrico total de residuos es necesario conocer la concentración de sólidos volátiles que existe en cada tipo de residuo, luego se calcula el flujo individual y por último el flujo total. Sin embargo, para ello debe conocerse primero la cantidad total diaria de excremento producida por la totalidad de animales de cada tipo, además del porcentaje de sólidos totales de la mezcla con que se carga el digester. Este es un elemento relevante a considerar, pues es uno de los factores que aseguran un proceso fermentativo satisfactorio. Experimentalmente se ha demostrado (Mandujano et al, 1981) que una carga que contenga 8% de sólidos totales es óptima para la digestión. Para lograr dicha concentración es necesario mezclar los residuos con agua (llamada agua de lavado) según las proporciones siguientes señaladas en la Tabla 7. 6:

TABLA 7. 6. Agua de lavado según tipo de material. (Basado en IIE y OLADE 1981).

M A T E R I A L	SOLIDOS TOTALES (%)	VOLUMEN DE AGUA ¹ (L/kg)
Estiércol de vaca	20	1.5
Cerdos	18	1.3
Gallinas	44	4.4

¹ litros de agua por kg de excremento para lograr una concentración de 8 % de sólidos totales.

Los cálculos necesarios para obtener el flujo volumétrico total de residuos, se exponen en el Apéndice E incisos 11. 5. 3 , 11. 5. 4, 11. 5. 5 y 11. 5. 6, obteniéndose un flujo total de aproximadamente 4 m³ diarios.

7. 6. 3) Cálculo del tiempo de retención.- El tiempo de retención ó tiempo de residencia se calcula a través de la formula (Mandujano et al, 1981):

$$t = V_T / F_T \quad \text{donde} \quad V_T = \text{Volumen total (m}^3 \text{) y} \quad F_T = \text{Flujo total (m}^3 \text{/día)}$$

$$t = 50 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3 \text{/día} = \underline{12.5 \text{ días}}$$

El cálculo del equipo ha tenido implícito los siguientes aspectos:

- i) El equipo seleccionado es de tipo semicontinuo.
- ii) El sistema opera en estado estacionario, ya que las condiciones y variables de operación son constantes durante el año (tipo de carga, cantidad de la misma, temperatura, etc.).

La producción de biogas, como ya se determinó es de 72.5 m³/día, es decir en un año se producen 26462.5 m³ de biogas. Es importante calcular la potencia energética derivada de esta producción de biogas para compararla con la demanda, no sin antes obtener la equivalencia energética del biogas producido en kilowatts (kW), para lo cual se tiene se tiene que:

$$(72.5 \text{ m}^3/\text{día}) (1 \text{ día}/24 \text{ h}) = 3.020 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$(3.020 \text{ m}^3/\text{h}) (5335 \text{ kcal}/\text{m}^3) = 16111.7 \text{ kcal}/\text{h}$$

$(16111.7 \text{ kcal}/\text{h}) (4.18 \text{ kW}/1 \text{ kcal}/\text{s}) (1 \text{ h}/3600 \text{ s}) = 18.7 \text{ kW}$. Por lo que la potencia energética producida diariamente es de $(18.7 \text{ kW}) (24 \text{ h}) = 448.8 \text{ kW}$

La energía total demandada se puede obtener sumando los datos de la tabla 7. 4 (suma = 262.6 kW), resultado que al dividirse entre el rendimiento ($\eta = 66 \%$) da un valor de 397.8 kW. Esto indica que la producción de biogas, que equivale a 448.8 kW, es un 11.3 % superior a la demanda, porcentaje que permite en la práctica tener la plena seguridad de que el consumo de biogas estará cubierto por la producción del mismo.

7. 6. 4) Algunos aspectos de diseño del biodigestor.- En el apéndice F se muestran una serie de biodigestores de tipo rural. Para la situación concreta de este estudio se ha seleccionado la tecnología guatemalteca, que corresponde a los digestores de desplazamiento horizontal, por las siguientes razones:

- Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de los 15 m^3 , para los cuales la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática. Por lo tanto, estos aparatos están diseñados con el propósito de producir biogas para necesidades comunales, tal como accionar motores para bombeo, molienda o generación de electricidad.
- Se construye con técnicas convencionales de albañilería y su forma permite un mínimo de problemas en la construcción.
- Es más barato por m^3 de digestor.
- Necesita escaso mantenimiento y tiene larga vida útil.

Estos dispositivos se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal con relaciones de largo a ancho de 5 a 1 hasta 8 a 1 y con una sección transversal circular, cuadrada o en forma de V. Se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo y saliendo los lodos por el extremo opuesto.

Poseen una cúpula en la que se colecta el gas generado y que puede ser rígida o de algún material flexible, a condición de que no presente fugas y resista la intemperie. El gas generado de esta forma puede pasar a un gasómetro flotante (op. cit.).

Las dimensiones generales del digestor proyectado de 50 m^3 , considera un volumen adicional para el almacenaje de biogas que se estima entre 25 a 35% del volumen calculado. La instalación completa comprende un gasómetro que funciona por desplazamiento de agua y que permite regular la presión de suministro de biogas, además de servir de reserva (2.5 m^3) para las horas pico de consumo. El texto y las Figs. 11.12 y 11.13 del apéndice F exponen las dimensiones y características del digestor y el gasómetro.

7.7) ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO RURAL.

Para el caso particular del predio agrícola en estudio se harán las estimaciones de costos asociados al biodigestor, comparado con el costo que involucraría conectarse a la red eléctrica, la cual se supone, para efectos del estudio, no existe en términos de instalación industrial dentro del predio. En la Tabla 7.1 se realiza la comparación entre los costos del biodigestor y los de la instalación eléctrica convencional.

7.7.1) COSTOS DEL BIODIGESTOR

Técnicamente se considera la construcción de un digestor de 50 m^3 de volumen húmedo o 69.53 m^3 de volumen total. El equipo tiene un gasómetro de 2.5 m^3 de reserva. Considerando que la mano de obra para la construcción del dispositivo es realizada por la comunidad, los costos estimados son: Digestor: US \$ 25.00/ m^3 , gasómetro: US \$ 120.00/ m^3 , y conexiones y aditamentos: US \$ 250.00 en total.

Los costos de operación están relacionados básicamente con el mantenimiento y reparación más una limpieza anual, estimándose en US \$ 250.00 al año. Si se considera una vida útil de 15 años, el valor actualizado neto (VAN) (Baca, 1989) se calcula como:

$VAN = \text{Inversión} + \text{Costos de operación}$, que en este caso es de:

$$VAN = (25.00)(67.5) + (120.00)(2.5) + 250.00 + \sum_{i=1}^{15} 250.00/(1+r)^i$$

Si se estima una tasa de actualización (r) constante de 10%, entonces:

$$VAN = (1687.50 + 276.00 + 250 + 1915.87) = \text{US } \$ 4129.40$$

7.7.2) COSTO DE LA ALTERNATIVA DE CONECTARSE A LA RED ELÉCTRICA.

Esta alternativa considera instalar un transformador de 30 a 45 kV (kW), con un voltaje de entrada de 13200 V y uno de salida de 440 V. El costo del dispositivo es de US \$ 1987.50 más el costo de la subestación de US \$ 1125.00, esto sin considerar la postería ni el tendido eléctrico, es decir, la instalación y el material del tendido.

Si se considera que el precio de la energía eléctrica es de US \$ 0.055/kW y que la potencia promedio por hora es de 3.6 kW/h (que corresponde al promedio de la potencia total del día), entonces el costo diario por consumo eléctrico es de (US \$ 0.055/kW) (3.6 kW/h) (24 h/día) = US \$4.75/día. Si ahora se calcula el valor actualizado neto (VAN) para esta alternativa, entonces:

$$VAN = (1987.50 + 1125.00) \text{ US \$} + \sum_{i=1}^{15} (4.75) (365) / (1 + 0.1)^i$$

$$VAN = \text{US \$}3112.50 + \text{US \$}13290.80 = \text{US \$}16403.30$$

Tabla 7. 7. Cuadro comparativo de inversión, costos de operación y valor actualizado neto (todas las cifras en dólares: US \$)

OPCIÓN	Inversión	Costo de operación	Valor Actualizado Neto
Biodigestor	2213.50	1915.80	4129.40
Red Eléctrica	3112.50	13290.80	16403.30

En el cuadro 8. 1 se presenta la comparación de la inversión, los costos de operación y el valor actualizado neto, entre las opciones de construcción del biodigestor y la alternativa de conectarse a la red de energía eléctrica. El biodigestor resulta ser aproximadamente US \$ 1200.00 más barato.

IX) DISCUSIÓN.

El conjunto de temas y antecedentes entregados a lo largo del proyecto, permite globalizar los diferentes recursos biomásicos como pertenecientes a un mismo origen: el proceso bioquímico de la fotosíntesis. Por otro lado se reconocen dos mecanismos de conversión de la biomasa: los procesos bioquímicos y los termoquímicos. La decisión de utilizar el recurso biomásico como fuente energética está relacionado con su disponibilidad, tecnología y costo de conversión y utilización, además de consideraciones ecológicas.

La identificación y caracterización de los problemas energéticos del país, en términos de la demanda, debe ser lo suficientemente precisa como para cuantificar y tipificar: tipo de consumo, demanda insatisfecha, limitaciones de disponibilidad de capital, hábitos de vida, etc. Los recursos biomásicos mexicanos son abundantes y de diversos tipos. Una relación aproximada demuestra que su explotación eficiente puede incidir notablemente en la distribución nacional del consumo de combustibles, disminuyendo el peso relativo de los combustibles tradicionales. Las tecnologías de producción de combustibles a partir de la biomasa son simples en su mayoría, y de un costo relativamente bajo. En particular la producción de biogas resulta muy conveniente, pues los equipos digestores son de fácil construcción, costo moderado, escaso mantenimiento y tienen larga vida útil. Es factible combinar la explotación de un conjunto de diferentes recursos biomásicos con el propósito de satisfacer las necesidades energéticas de una zona rural determinada sin aumentar demasiado las inversiones iniciales. En la mayoría de los casos esto se logra racionalizando eficientemente la explotación de tales recursos.

La elevación del estándar de vida del sector rural es un objetivo que puede ser alcanzado en el marco de una política de promoción ejidal, privada y mixta, donde el recurso biomásico, para el caso mexicano, desempeña un importante papel dada su disponibilidad real a lo largo de gran parte del país. Dada la importancia del tema estudiado se requiere una mayor precisión, con toda la información disponible, del potencial bioenergético mexicano. En este sentido puede ser necesario desarrollar mapas donde se destaquen los puntos de concentración biomásica.

Es importante identificar las tecnologías de conversión disponibles, elaborando una revisión de su nivel de desarrollo nacional y la planificación de estrategias bioenergéticas aplicables a la realidad nacional. Asimismo, deben crearse mecanismos de financiamiento a través de subsidios estatales y del sector privado para investigar e implementar nuevas tecnologías bajo la visión combinada de la evaluación social y privada.

En el país ya existen unidades económicas piloto. Debe procederse a su evaluación dentro del sector rural, fomentándose la creación de pequeñas industrias y cooperativas de comercialización con asesoramiento profesional. También deben desarrollarse en las distintas regiones los grupos de personal capacitado, que pueda desempeñarse eficientemente en su zona y aplicar una política ágil y realista de créditos para impulsar a los ejidos y comunidades rurales a lo largo del país.

X) BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera. J. M. , J. A. Guzmán y M. Rutman. *Recursos Renovables Chilenos*. Ediciones de la Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería, Santiago de Chile 1984.
- Almanza, S. R.; C. R. Estrada y J. Barrientos. *Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar de la República Mexicana*. Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM. N° 543. México, 1992.
- Arellano J. *Solid Wastes Final Disposal..* Universidad de Chile, Santiago de Chile 1980.
- Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y Universidad Nacional Autónoma de Zacatecas (UNAZ). *Destilación del Agua..* Zacatecas, 1991.
- Baca, U. G. *Evaluación de Proyectos*. Mc Graw - Hill. México, 1989.
- Baumister T. y Avallone A. E. *Manual del Ingeniero Mecánico*. Mc Graw - Hill. 2ª Edición. Vol. 2. México, 1984.
- Bux S. R. *Biogas Plant* . Gobar Gas Research Station. Ajitmal Etawah, India, 1975.
- Cámara Nacional de la Industria Forestal (CNIF). *Memoria Económica de la Cámara Nacional de la Industria Forestal*. México, 1991.
- Centro Internacional de Perfeccionamiento Profesional y Técnico (CIPPT) y Organizacin Internacional del Trabajo (OIT). *Bombeo de Agua con Aeromáquinas*. Publicación N° E - 2. Turín, Italia, 1985.
- Centro de Sistemas de Energía (CESEN). *Energía Domani*. N° 18 y 21. Genova, Italia, 1980, pp. 7 - 9.
- Comisión Nacional para la Investigación y Desarrollo de la Energía Nuclear y de la Energía Alternativa (ENEA). *Energía del Viento*. Roma, Italia. Septiembre, 1985.

- Cordourier Aguilar, R. *Fundamentos de Bioecología*. Federación Editorial Mexicana. México, 1984.
- Crawford, R.L. *Lignin Biodegradation and Transformation*. Edit. John Wiley & Sons. Nueva York, 1981.
- Douglas C. M. *Enciclopedia de Energía: Tecnología*. Publicaciones Marcombo S. A. Vol. 5. México, 1989.
- Dirección General de Política Energética (D G P E). Generalitat de Catalunya: Departament de' Industria i Energía. Sabadell, España, 1985. El Parque Eólico Piloto de Emporda. *Noves Energies N° 5*.
- Foust, S. A.; Wenzel, L. A. y W. C. Clump. *Principles of Unit Operations*. John Willey & Sons Inc. Nueva York, 1962.
- Giufredo, M. *Conversión Fotovoltaica y Sistemas Fotovoltaicos*. CIPPT y OIT. A 1377.0 Génova, Italia, 1985.
- Goodman L. J. y R. N. Love. *Biomass Energy Projects*. Pergamon Press. Nueva York, 1981.
- Guevara L. *Grandes Centrales Eólicas: Realizaciones y Perspectivas*. CIPPT y OIT. Publicación N° E - 9. Turín, Italia, 1985.
- Hall, D. O. , G. W. Barnard y P. A. Mors. *Biomass for Energy in the Developing Countries*. Pergamon Press. Londres, 1982.
- Hupping, S. C. *Como Usar las Fuentes de Energía Natural*. Editorial Diana. 1ª Edición 1978.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *VII Censo Agropecuario 1991*. México, 1992.
- INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente*. México, 1994.

- INEGI. *Anuario Estadístico del Estado de Puebla*.. México, 1996.
- INEGI. *Teziutlan, Estado de Puebla: Cuadernos de Estadísticas Municipales*.. México, 1996.
- INEGI. *XI Censo de Población y Vivienda 1990*. México, 1992.
- INEGI. *Huachinango, Estado de Puebla: Cuadernos de Estadísticas Municipales*. Mexico 1996.
- INEGI y Comisión Nacional de Alimentación (CONAL). *El Sector Alimentario en México*.. México, 1996.
- Instituto Nacional Tecnológico de Chile (INTEC). *Informe del INTEC de Chile*. Santiago de Chile, 1982.
- Levenspiel, O. *Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor*. Editorial Reverté S. A. México, 1993.
- Longwell C. R. y R. F. Flint. *Geología Física*. Editorial Limusa S. A. 1ª Edición. México, 1974.
- López B. E. *El Recurso Eólico*. Centro Internacional de Perfeccionamiento Profesional y Técnico (CIPPT) y Organización Internacional del Trabajo (OIT). Publicación N° E - 7. Turín, Italia, 1985.
- López S. F. *Características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos generados en el D. F.* Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) y Dirección Técnica de Deshechos Sólidos (DTDS). DDF, México, 1994.
- Mandujano, M. I., F. A. Alfonso y Martínez A. M. *Biogas: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos, manual para el promotor de la tecnología*.. Cuernavaca, México. OLADE, IIE, 1981. S. P. E. N° 6.

- Mateo Bruno, M. *Bioquímica de la Digestión Anaeróbica*. Primer Curso Seminario de Capacitación en Biogas. ITINTEC - UTC. Cajamarca, Perú, 13 - 23 de Junio de 1983.
- Ministerio de Agricultura. *Informe de la Corporación Nacional Forestal: Balance 1984*. Santiago de Chile, 1985.
- Muhsam Godoy, R. *Aplicaciones de Energía Solar*. CIPPT y OIT. Turin, Italia, 1985.
- Niembro, R. A. *Árboles y arbustos útiles de México: Naturales e introducidos*. Editorial Limusa S. A. México, 1986.
- NSF - USA. *Wind Machines*. Informe de The National Science Formation of E. E. U. U., con la cooperación de The Energy Research and Development Administration. Washington, 1975.
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). *1º Seminario Latinoamericano de Biogas*. República Dominicana, 1980.
- Ortiz, H. V. y A. Guerra. *Obtención de agua pura mediante la energía solar*. Universidad Central. Quito, Ecuador, 1982.
- Palz, W. *Electricidad Solar: Estudio Económico de la Energía Solar*. Editorial F. Blume. Madrid, UNESCO, 1978.
- Peter, C y W. Palz. 2ª E. C. Conference *Energy from Biomass*. 20 - 23 Sept. 1982. Applied Science Publishers. Londrés, 1983.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). *Directrices sobre la gestión de la utilización de los residuos agrícolas y agroindustriales*. Nueva York, 1984.
- Rau H. *Energía Solar*. Marcombo, Boixareau Editores. Barcelona, España 1980.

Rius de Ripien, M. y Castro Acuña M. *Energía Solar: La Química hacia la Conquista del Sol.* Colección: La Ciencia desde México. No. 10. SEP, FCE y CONACYT. México, 1979.

Roberts, D. J. y C. M. Caseiro. *Basic Principles of Organic Chemistry.* W. A. Benjamin Publishers. 2º Edición. California, USA, 1977.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE). *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al medio ambiente 1991 - 92.* México, 1993.

Secretaría de Energía (SE). *Balance Energético Nacional 1995.* México, 1996.

Secretaría de Pesca (SEPECSA). *Programa Nacional de Desarrollo de la Pesca y sus Recursos: Síntesis Ejecutiva 1990.* México, 1992.

Servicio Nacional de Información de Mercados (SNIM). *Anuario Estadístico 1996 del Servicio Nacional de Información de Mercados.* México, 1997.

Sichuan Provincial Office of Biogas Development (SPOBD). *Biogas: Technology and utilization.* Sichuan, China 1979.

Spedding C. R. W. *Ecología de los Sistemas Agrícolas.* Blume Ediciones. Madrid, 1979.

Tonda, J. A. *El Oro Solar y otras fuentes de energía.* Serie : La Ciencia desde México. N° 119; 1º Reimpresión. SEP, FCE y CONACYT. México, 1995.

Torres, R. E. *Agrometeorología.* Editorial Diana. 1ª Edición. México, 1983.

Turk A., J. Turk y T. J. Wittes. *Ecología, Contaminación y Medio Ambiente.* Nueva Editorial Interamericana. México, 1988.

Wark, K. Jr. *Thermodynamics.* Mc Graw - Hill Inc. 5º Edición. USA, 1988.

XI) APÉNDICES.

11. 1) APÉNDICE A. Aeromáquinas de Rotor de Eje Vertical. (Basado en NSF - USA, 1975).

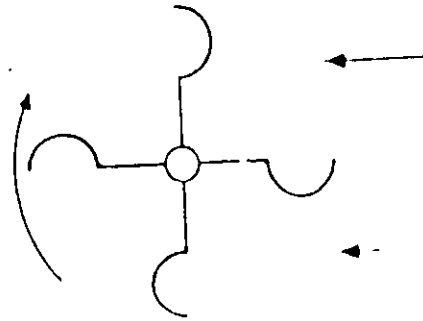


Figura 11. 1. Aeromáquina de acción diferencial

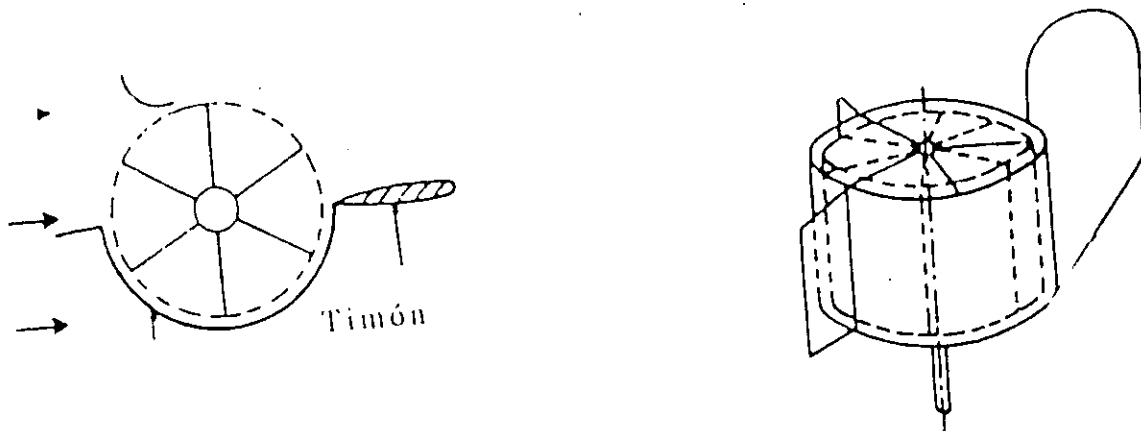


Figura 11. 2. Aeromáquina con deflector

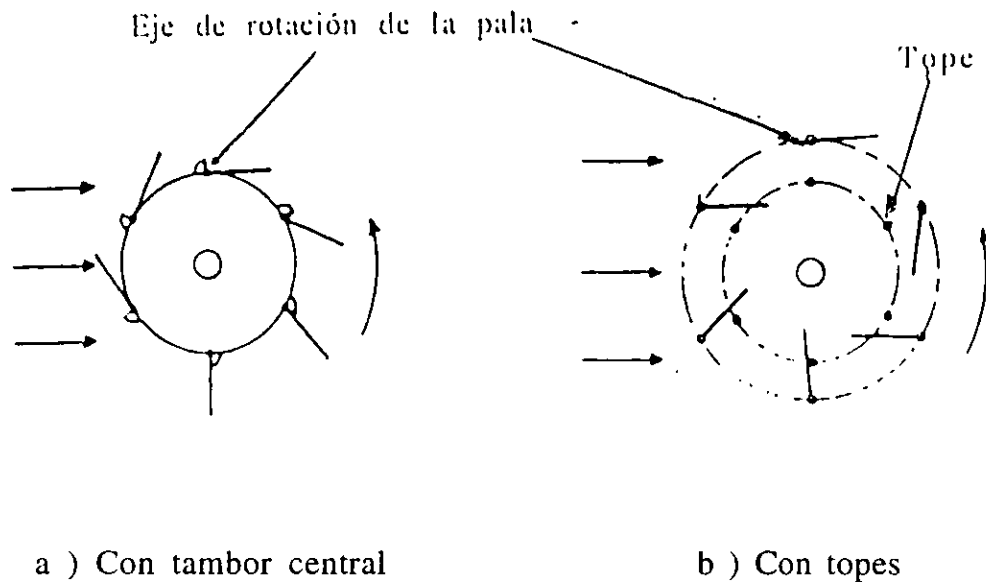


Figura 11. 3. Aeromáquinas a batientes.

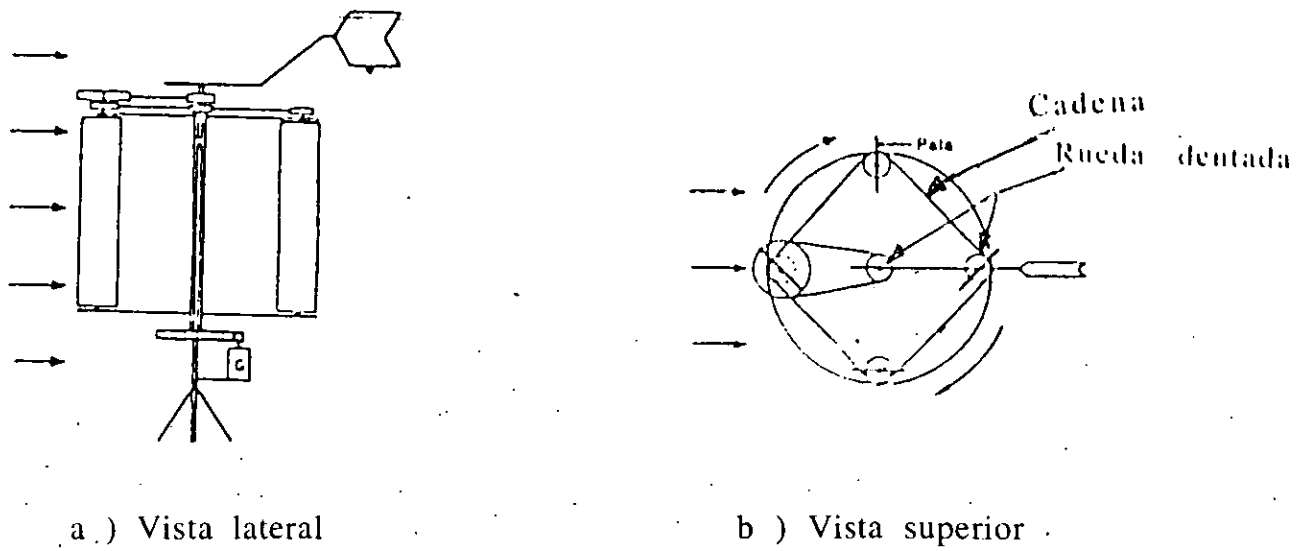


Figura 11. 4. Aeromáquina a palas giratorias.

11. 2) APÉNDICE B. Elementos Principales de una Aerobomba. (Basado en CIPPT y OIT, 1985).

a) El rotor.- En general está constituido por una hélice multipolar que posee entre 6 y 16 palas, según los tipos y diámetros. Los valores más comunes son de 2 a 2.5 m para el diámetro y de 12 a 15 para el número de palas (ver Fig. 11. 5).

b) Sistema de orientación.- Puede estar constituido de un timón o de un rotor auxiliar. Su importancia radica en que debe seguir la variación del sentido del viento.

c) Mecanismo de seguridad.- Es necesario tomar precauciones respecto a la intensidad variable del viento, ya que sus valores pueden oscilar entre 0.3 y 37 m / s , lo que somete a la aeromáquina a esfuerzos muy importantes. Estos sistemas de seguridad permiten un frenado parcial o total del molino, para velocidades excesivas.

d) Torre de sostén.- Son construidas en perfiles angulares de acero soldados entre sí, generalmente se les da un tratamiento antioxidante (galvanizado) para soportar las condiciones climáticas.

e) Bomba recíprocante.- Es el elemento principal de bombeo.

f) Tubería de conducción.- Es uno de los componentes de la aerobomba, que junto con el diámetro del rotor y el de la bomba, determina el rendimiento del sistema para una velocidad de viento considerada.

g) Sistema de acumulación de agua.- Aun cuando no forme parte integral de la aerobomba es necesario un sistema de acumulación, ya que permite una reserva del líquido en caso de un déficit del mismo. Este sistema puede estar constituido por un tambo o tinaco para el uso doméstico. (ver fig. 11.5).

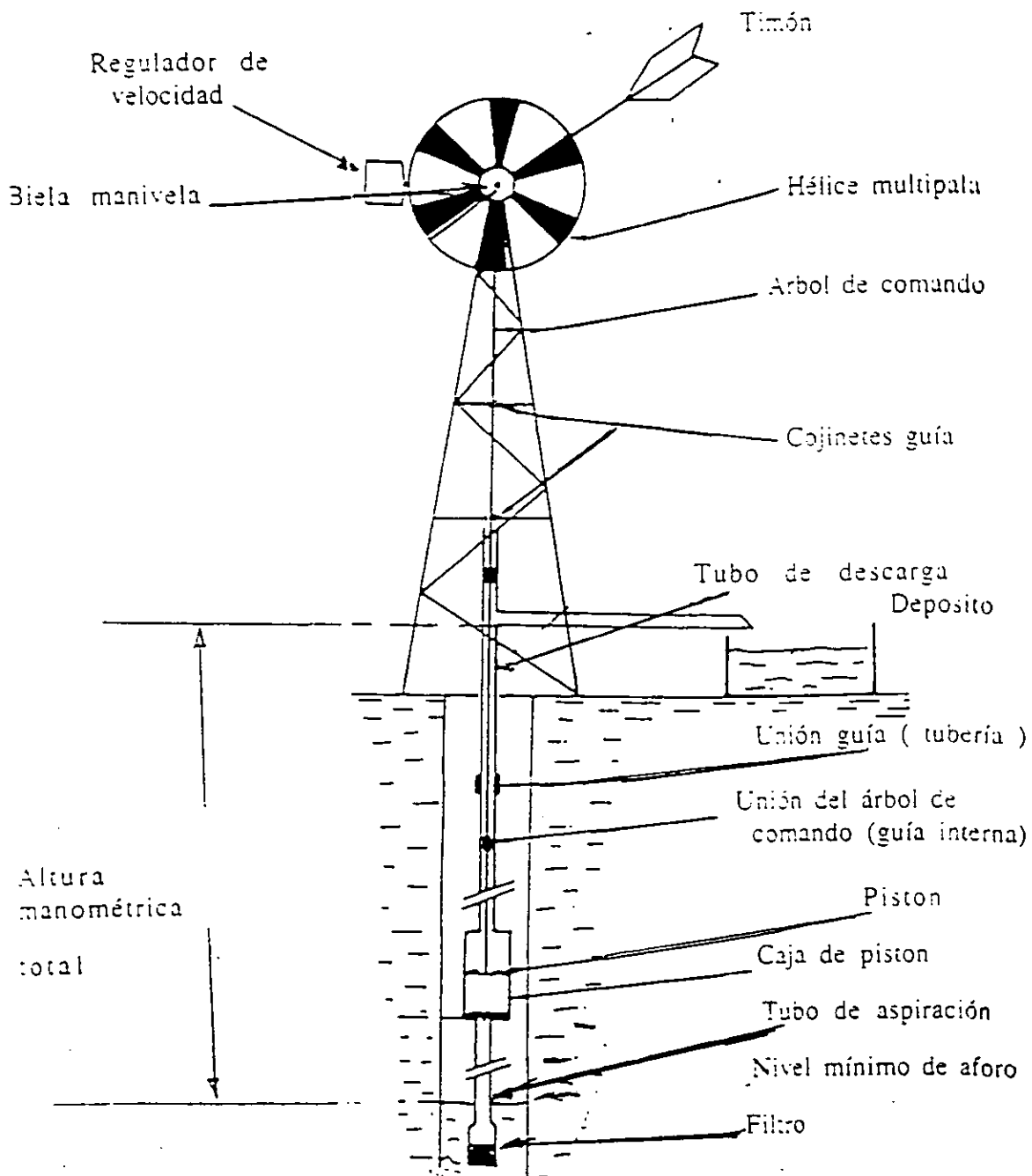


Figura 11. 5. Esquema de instalación de bombeo eólico. (Basado en CIPPT y OIT, 1985).

11.3) APÉNDICE C. Destiladores Solares. (Basado en Muhsam, 1985; Torres, 1983).

11.3.1) Optimización Funcional del Destilador Solar.- A continuación se exponen una serie de aspectos relevantes que optimizan el funcionamiento del destilador solar:

a) El depósito del agua debe aislarse lateralmente y por debajo con cualquier material aislante tal como arena, aserrín u otros. Asimismo, el fondo del recipiente debe pintarse de negro, ya sea con pintura resistente al agua o con asfalto, siendo necesario renovarlo cada vez que el equipo lo requiera. Esto tiene el objetivo de disminuir las pérdidas de calor y de aumentar la absorción de la radiación solar, dando como resultado un mejor rendimiento del aparato.

b) Ya que el agua alcanza una temperatura más alta durante el día originándose mayor evaporación, debe evitarse introducir agua al destilador durante su funcionamiento y llenarse el depósito de una sola vez por la noche.

c) La cubierta de vidrio debe limpiarse perfectamente, también durante la noche.

d) El área adyacente al destilador debe estar limpia de todo material liviano que pueda ser impulsado contra el vidrio, sobre todo en zonas donde exista diferente vegetación. Asimismo, en el lugar elegido no debe haber objetos que obstruyan la luz solar, con el fin de recibirla sin interferencias de ninguna especie.

e) De ser posible, el sitio seleccionado tiene que estar cerca a una fuente de suministro de agua que permita la alimentación en forma continua.

f) Debe procurarse que el terreno en donde se instale el aparato sea nivelado, para obtener una evaporación uniforme y por tanto una mejor eficiencia del destilador.

11.3.2) Modelos de Alambiques Solares.- Los modelos de alambiques solares conocidos son: a) destilador plano, b) destilador de gradas, c) destilador de forma esférica, d) destilador de doble techo reclinado hacia afuera, y e) destilador de doble techo reclinado hacia adentro.

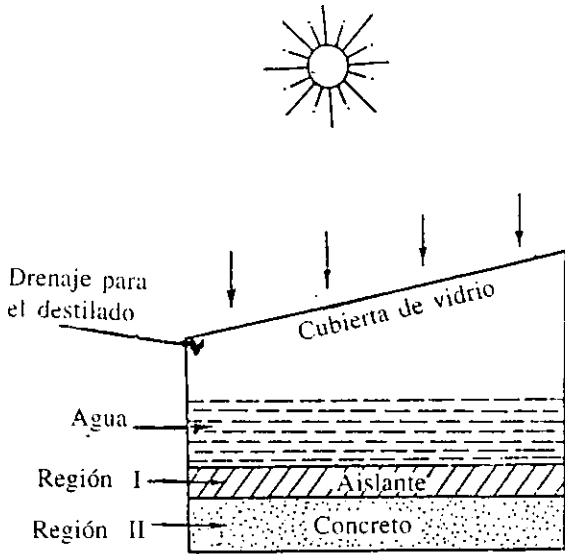
De todos éstos, el destilador plano es el que muestra mayor eficiencia debido a que genera menor cantidad de aire en circulación y menor grado de refracción de los rayos solares. Los esquemas de estos modelos de destiladores se encuentra en la Fig. 11.6

11.3.3) Parámetros importantes: Entre los parámetros relevantes a considerar para la construcción del destilador están: país, lugar (comunidad rural o urbana), habitantes y número de familias, altitud del lugar, temperatura (mínima, máxima y promedio), latitud y longitud y radiación incidente. Con relación a este último punto, la radiación incidente se define como la cantidad de energía radiante que incide por unidad de área y por unidad de tiempo ($\text{watts/m}^2\text{día}$).

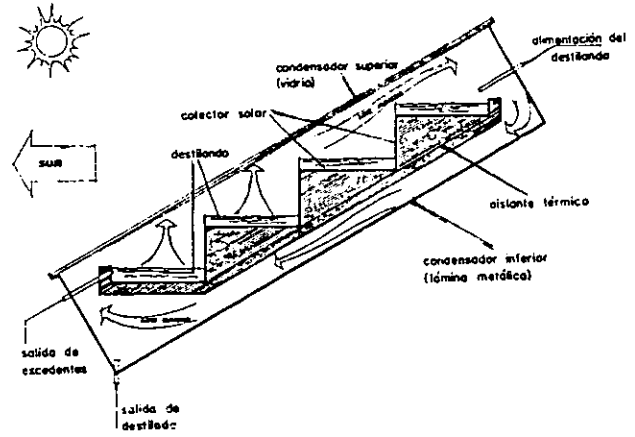
La radiación incidente depende principalmente de la latitud del lugar, siendo aquella mayor a latitudes cercanas al ecuador y menor para las cercanas al polo. Existe una regla empírica que es muy útil para calcular la inclinación óptima del destilador en latitudes del hemisferio norte, dicha regla se expresa así:

$$\text{Inclinación Óptima} = \text{Latitud} + 10^\circ \text{ (para el Hemisferio Norte)}$$

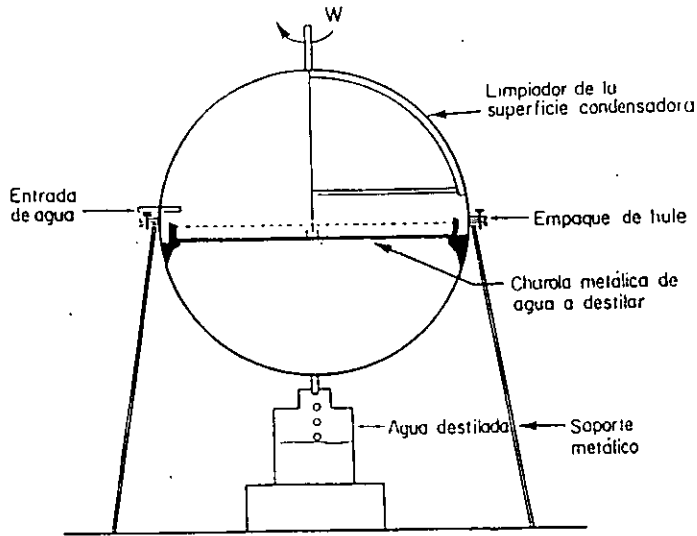
Los destiladores planos, convenientemente aislados y con la inclinación adecuada de frente al sol de mediodía, llegan a desarrollar temperaturas cercanas a los 100 °C. Su costo es bajo, la elaboración sencilla, el manejo es fácil y requieren poco mantenimiento. Tampoco precisan complejos mecanismos para su funcionamiento y, además, aprovechan parte de la radiación difusa tan abundante en los días nublados. Estos destiladores tienen su utilidad en la producción de agua destilada para uso doméstico y pueden jugar un papel destacado en el desarrollo comunitario.



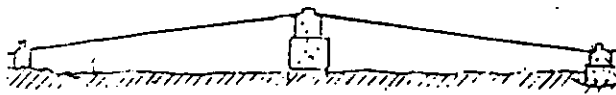
a) Destilador de caseta



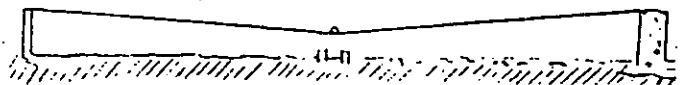
b) Destilador de gradas



c) Destilador esférico



d) Destilador con techo doble reclinado hacia afuera



e) Destilador con techo doble reclinado hacia adentro

11.6) Tipos de destiladores solares. (Tomado de ANES y UNAZ, 1991).

11. 4) APÉNDICE D. Ventajas, desventajas y aplicaciones del sistema fotovoltaico. (Basado en Musham, 1985).

11. 4. 1) Ventajas y Desventajas del Sistema Fotovoltaico:

a) Ventajas:

- La conversión es directa, sin producción de residuos ni consumo de combustibles.
- No hay movimiento mecánico de las partes del dispositivo, lo que garantiza gran duración y confiabilidad.
- El mantenimiento es mínimo.

b) Desventajas:

- La energía solar no es continua, por tanto es necesario un acumulador eléctrico.
- El precio de los sistemas fotovoltaicos es alto.

11. 4. 2) Aplicaciones del Sistema Fotovoltaico.- Es importante hacer énfasis que el diseño de un sistema fotovoltaico real, debe de ir precedido de un estudio de la radiación local en función de los parámetros climáticos y geográficos, ya que sobre todo los primeros son muy variables entre puntos próximos. La Fig. 11. 8. muestra uno de los empleos (radioteléfono) de la energía solar a través de paneles de celdas fotovoltaicas (Fig. 11. 7).

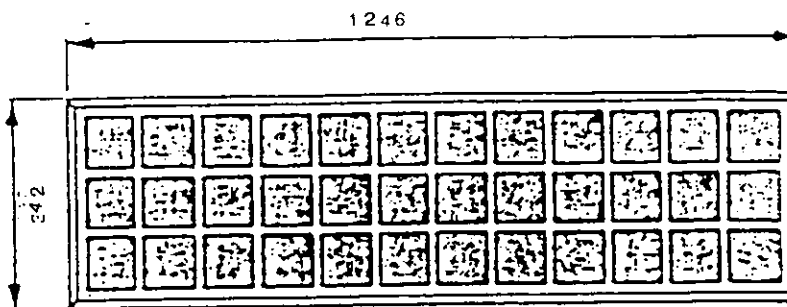


Figura 11. 7. Esquema del conjunto de celdas de un panel fotovoltaico (medidas en mm). (Tomado de Musham, 1985).

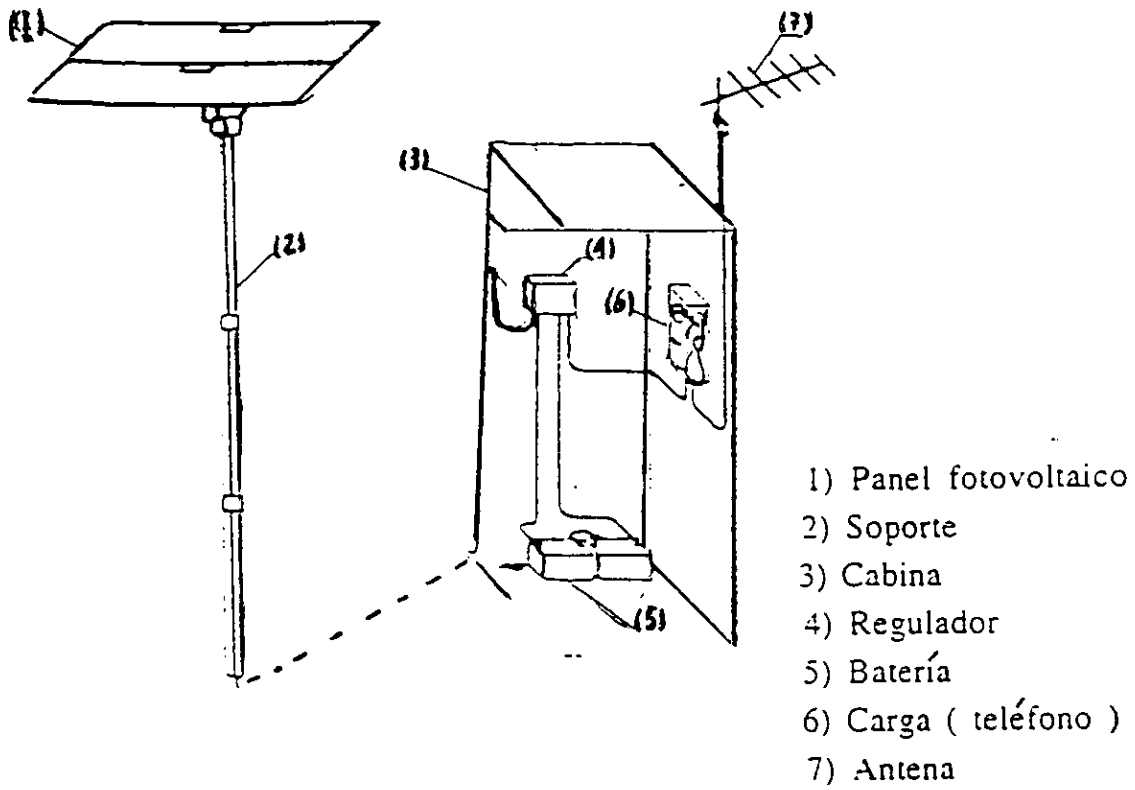


Figura 11. 8. Radioteléfono. (Tomado de Musham, 1985).

11. 5) APENDICE E. Calculos sobre la oferta de biogas y del diseño del biodigestor.

11. 5. 1) Cálculos sobre la producción diaria de biogas por tipo de residuo:

- Porcinos:

$$(0.6 \text{ kg S V/día}) (50/100) = 0.30 \text{ kg S V/día}$$

$$(0.30 \text{ kg S V/día}) (0.45 \text{ m}^3/\text{kg S V}) = 0.135 \text{ m}^3/\text{día cabeza}$$

$$(0.135 \text{ m}^3/\text{día cabeza}) (210 \text{ cabezas}) = \underline{28.35 \text{ m}^3/\text{día}}$$

- Vacunos:

$$(0.86 \text{ kg S V/día}) (300/100) = 2.58 \text{ kg S V/día}$$

$$(2.58 \text{ kg S V/día}) (0.38 \text{ m}^3/\text{kg S V}) = 0.98 \text{ m}^3/\text{día cabeza}$$

$$(0.98 \text{ m}^3/\text{día cabeza}) (30 \text{ cabezas}) = \underline{29.41 \text{ m}^3/\text{día}}$$

- Novillos:

$$(0.7 \text{ kg S V/día}) (100/100) = 0.7 \text{ kg S V/día}$$

$$(0.7 \text{ kg S V/día}) (0.5 \text{ m}^3/\text{kg S V}) = 0.35 \text{ m}^3/\text{día cabeza}$$

$$(0.35 \text{ m}^3/\text{día cabeza}) (25 \text{ cabezas}) = \underline{8.75 \text{ m}^3/\text{día}}$$

- Aves:

$$(1.25 \text{ kg S V/día}) (1/100) = 0.0125 \text{ kg S V/día}$$

$$(0.0125 \text{ kg S V/día}) (0.55 \text{ m}^3/\text{kg S V}) = 0.0068 \text{ m}^3/\text{día cabeza}$$

$$(0.0068 \text{ m}^3/\text{día cabeza}) (880 \text{ cabezas}) = \underline{5.98 \text{ m}^3/\text{día}}$$

- Biogas Total = $(28.35 + 29.41 + 8.75 + 5.98) = \underline{72.5 \text{ m}^3/\text{día}}$

11. 5. 2) Cálculos sobre el volumen de diseño del biodigestor por tipo de residuo:

- Porcinos:

$$V_1 = \frac{(0.6 \text{ kg S V/día}) (50 \text{ kg}/100 \text{ kg}) (210 \text{ cabezas})}{3.41 \text{ kg S V/día m}^3} = \underline{18.47 \text{ m}^3}$$

- Vacunos:

$$V_2 = (0.86) (300/100) (30) / 3.41 = \underline{22.69 \text{ m}^3}$$

- Novillos:

$$V_3 = (0.7) (100/100) (25) / 3.41 = \underline{5.13 \text{ m}^3}$$

- Aves:

$$V_4 = (1.2) (1/100) (880) / 3.41 = \underline{3.22 \text{ m}^3}$$

- $\text{Volumen Total} = (18.47 + 22.69 + 5.13 + 3.22) \text{ m}^3 = \underline{49.51 \text{ m}^3}$

11. 5. 3) Cantidad total diaria de excremento producida por la totalidad de animales de cada tipo (con datos de sección 6. 2. 3):

* Vacunos

$$(8.6 \text{ kg excremento/día vaca}) (300 \text{ kg}/100 \text{ kg}) (30 \text{ cabezas}) = 774 \text{ kg excremento/día}$$

* Porcinos

$$(5) (50/100) (210) = 525 \text{ kg excremento/día}$$

* Novillos

$$(5.7) (100/100) (25) = 142.5 \text{ kg excremento/día}$$

* Aves

$$(9) (1/100) (880) = 79.2 \text{ kg excremento/día}$$

11. 5. 4) Cantidad de agua de lavado:

* Vacunos: 1 kg excremento vaca = 1.5 lt de agua

$$(774 \text{ kg excr. de vaca}) = (774 \text{ kg excremento vaca}) \frac{(1.5 \text{ lt de agua})}{(1 \text{ kg excr. vaca})} = \underline{1161 \text{ lt de agua.}}$$

* Porcinos: 1 kg excremento cerdo = 1.3 lt de agua

$$(525) = (525) \frac{(1.3)}{(1)} = \underline{682.5 \text{ lt de agua}}$$

* Novillos: 1 kg excremento novillo = 1.5 lt de agua

$$(142.5) = (142.5) \frac{(1.5)}{(1)} = \underline{213.75 \text{ lt de agua}}$$

* Aves: 1 kg excremento ave = 4.5 lt de agua

$$(79.2) = (79.2) \frac{(4.5)}{(1)} = \underline{356.4 \text{ lt de agua}}$$

Nota .- Excr.= Excremento.

11. 5. 5) Concentración en sólidos volátiles:

$C_{sv} = S V/P \text{ excr.}$ donde C_{sv} = Concentración de sólidos volátiles ; $P \text{ excr.}$ = Peso del excremento ; $S V$ = Cantidad de sólidos volátiles.

$C_{sv} = \text{kg } S V/\text{kg excremento}$

* Vacunos;

$$C_{sv} = \frac{(0.86 \text{ kg S V/día}) (300 \text{ kg/100 kg}) (30 \text{ cabezas})}{774 \text{ kg excremento/día} + 1161 \text{ lt de agua}}$$

$$= \frac{77.4}{1935} = 0.040 \text{ kg S V/kg excremento}$$

* Porcinos:

$$\frac{(0.6) (50/100) (210)}{525 + 682.5} = 63/1207.5 = 0.0521 \text{ kg S V/kg excremento}$$

* Novillos:

$$\frac{(0.7) (100/100) (25)}{142.5 + 213.7} = 17.5/356.2 = 0.0491 \text{ kg S V/kg excremento}$$

* Aves:

$$\frac{(1.25) (1/100) (880)}{79.2 + 356.4} = 11/435.6 = 0.0252 \text{ kg S V/kg excremento}$$

11. 5. 6) Flujo individual diario de residuos :

Flujo = S V/C sv donde S V = cantidad de sólidos volátiles/día ;

C sv = Concentración de sólidos volátiles.

* Vacunos

$$\frac{(0.86 \text{ kg S V/día}) (300 \text{ kg/100 kg}) (30 \text{ cabezas})}{0.040 \text{ kg S V/kg excremento}} = 1935 \text{ lt/día}$$

* Porcinos

$$\frac{(0.6) (50/100) (210)}{0.0521} = 1209.2 \text{ lt/día}$$

* Novillos

$$\frac{(0.7) (100/100) (25)}{0.0491} = 356.4 \text{ lt/día}$$

* Aves

$$\frac{(1.25) (1/100) (880)}{0.0252} = 436.5 \text{ lt/día}$$

• Flujo total diario de residuos:

$$(1935 + 1209.2 + 356.4 + 436.5) = 3937.1 \text{ lt/día} \approx 4 \text{ m}^3/\text{día}$$

11. 6) APÉNDICE F. Biodigestores diseñados para áreas rurales.

(Basado en Mandujano et al., 1981; SPOBD, 1979; Shing, 1975 y OLADE, 1980).

11. 6. 1) Tecnología China.- La unidad biodigestora consiste en un tanque cilíndrico con techo y fondo cóncavo, construido totalmente bajo tierra. Los materiales básicos de construcción son: ladrillo de barro cocido, cal, arena y cemento. Al iniciarse el proceso se le coloca una carga parcial de arranque compuesta de desechos orgánicos de diferente naturaleza, que han sufrido un tratamiento preliminar de fermentación aeróbica. Una vez cerrado se alimenta diariamente con desechos disponibles (estiércol de animales, basuras domésticas o agrícolas, aguas de uso residuales, etc.).

Diariamente se retira también un volumen de bioabono líquido equivalente al que entró. El biogas producido se almacena en la parte superior cóncava de la unidad de fermentación, generando una presión interna que obliga al desplazamiento de parte del líquido sobrenadante a una cámara final de compensación. Al extraerse el biogas con el uso, el líquido entra nuevamente a la unidad produciendo en su recorrido una agitación inducida que es útil para el propio proceso microbiano. La unidad puede colocarse en cualquier lugar cercano a los sitios de consumo de gas y bioabono requiriendo una área mínima, ya que al estar enterrada ocupa solamente una superficie correspondiente a las secciones de entrada y salida de materiales (Fig. 11. 9).

11. 6. 2) Tecnología Hindú.- La unidad biodigestora es un tanque cilíndrico largo semejante a un pozo que está totalmente enterrado, exceptuando la parte superior. Se construye de paredes de ladrillo de barro cocido reforzadas con columnas de concreto y acero (Fig. 11. 10). El tanque de almacenamiento de gas está integrado al tanque del biodigestor, actuando por desplazamiento en el seno de un canal sellado con agua. Esta campana sirve como tapadera del digestor y está construida con hierro, acero y fibra de vidrio. La entrada de la carga diaria por gravedad y hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos resultantes de la digestión que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. El método de alimentación del digestor constituye una delicada actividad, pues es conveniente cuidar que no se arrastren sólidos de grandes dimensiones evitando con ello taponamientos. Existen utensilios de uso del biogas y equipos de control y seguridad. El sistema mantiene una presión constante de gas, lo que facilita el consumo y lo hace más eficiente.

11. 6. 3) Tecnología centroamericana (Guatemala).- Esta tecnología corresponde a los digestores denominados de desplazamiento horizontal. Estos dispositivos se caracterizan porque la carga se introduce por un extremo y el efluente se retira por el otro; la carga puede introducirse ininterrumpidamente (tipo continuo) o periódicamente, a intervalos fijos (tipo semicontinuo).

Un digestor de desplazamiento horizontal se construye generalmente bajo tierra para proporcionarle un aislamiento térmico natural, minimizar el trabajo de carga y lograr una producción uniforme y eficiente de biogas.

Los volúmenes del sistema oscilan normalmente entre 10 y 40 m³, requiriéndose para su construcción de técnicas convencionales de albañilería. La operación del sistema es sencilla y no necesita más de una persona y de un corto tiempo (1.5 h al día) para efectuar las operaciones de carga y descarga.

La planta completa consiste, esencialmente, de cuatro partes: el digestor, una pileta de carga, un pozo de descarga con una pileta de compensación y un sistema de conducción y almacenamiento de biogas. La pileta de carga sirve para depositar y homogeneizar la mezcla con la que se alimenta al digestor; el pozo de descarga se usa para retirar la mezcla fermentada (Fig. 11. 11). Este es el tipo de biodigestor cuya construcción se plantea para la comunidad rural seleccionada en esta tesis. En la Fig. 11.12 se presenta un esquema de las dimensiones del dispositivo elegido, para un volumen húmedo de 50 m³ y uno total de 69.53 m³.

El almacenamiento de biogas puede efectuarse de manera separada, en forma de un pulmón suministrador (sistema por desplazamiento de agua). Este gasómetro está constituido por dos tanques o tambos cuyo diámetro varía aproximadamente en 10 cm. Como se observa en la Fig. 11.13, ambos tambos se embocan de tal manera que el más ancho (1), con un 60 a 70 % lleno de agua, sostenga al tambo menos grueso (2) que contiene el biogas producido por la fermentación, el cual se introduce al gasómetro por la tubería correspondiente (3). El gas es vaciado del sistema por la llave de paso y la línea de conducción indicadas en el esquema (4).

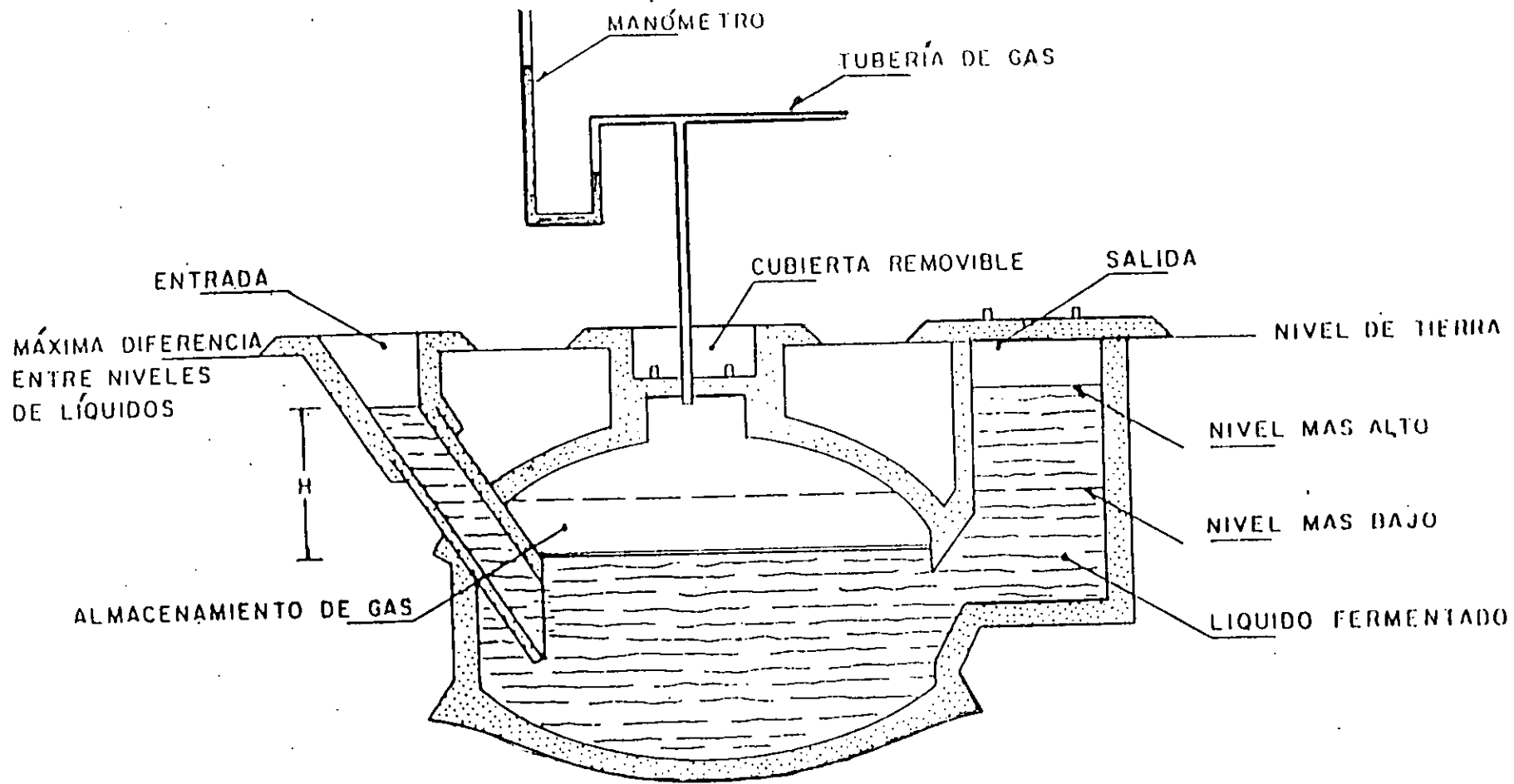


Figura 11. 9. Planta de biogas familiar tipo "circular, pequeño y achatado" usado en la República Popular China. (Tomado de Mandujano et al., 1981).

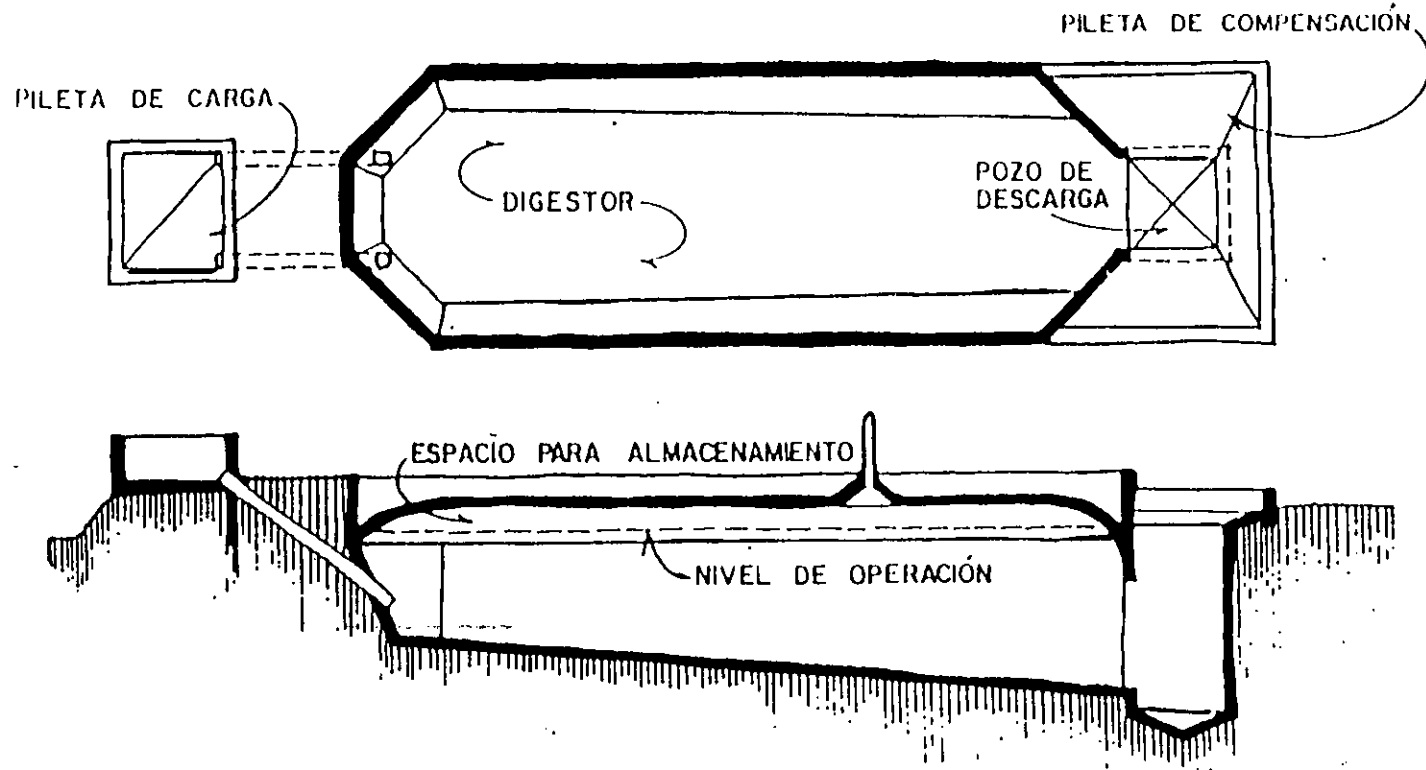
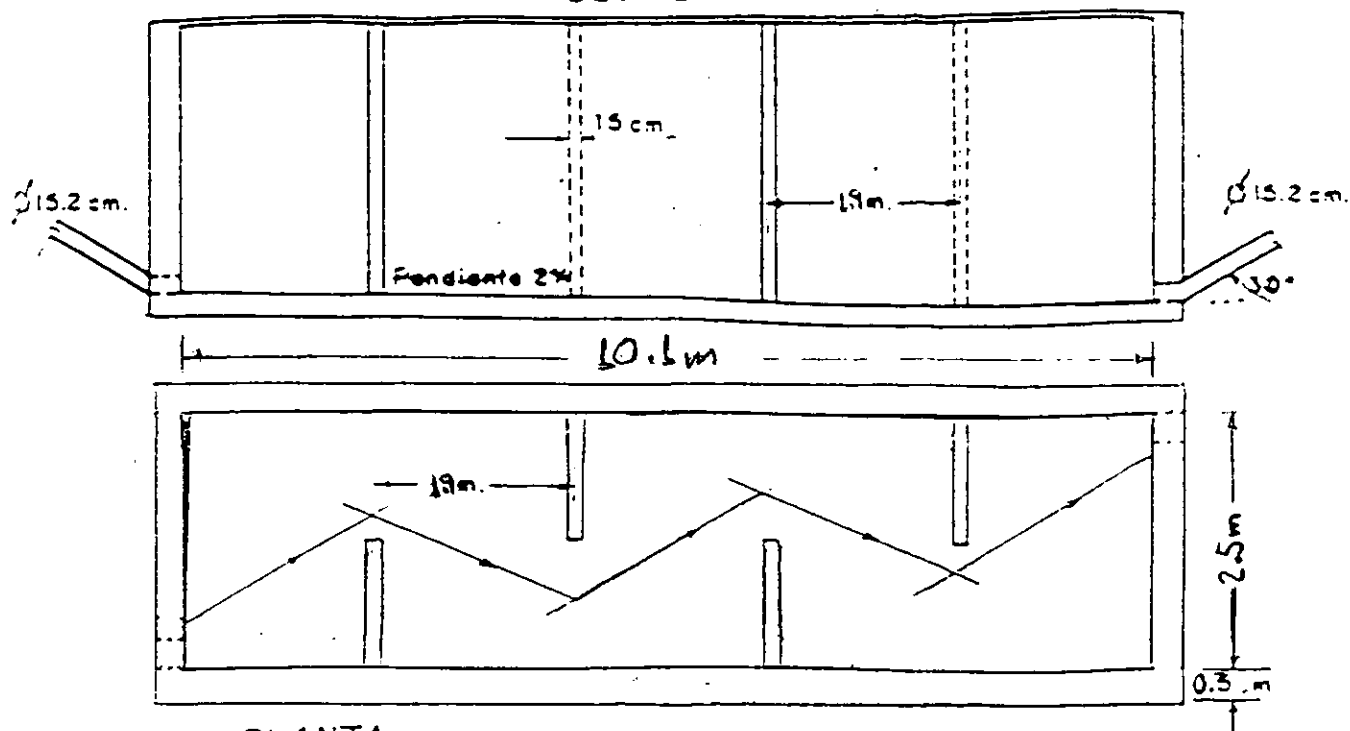
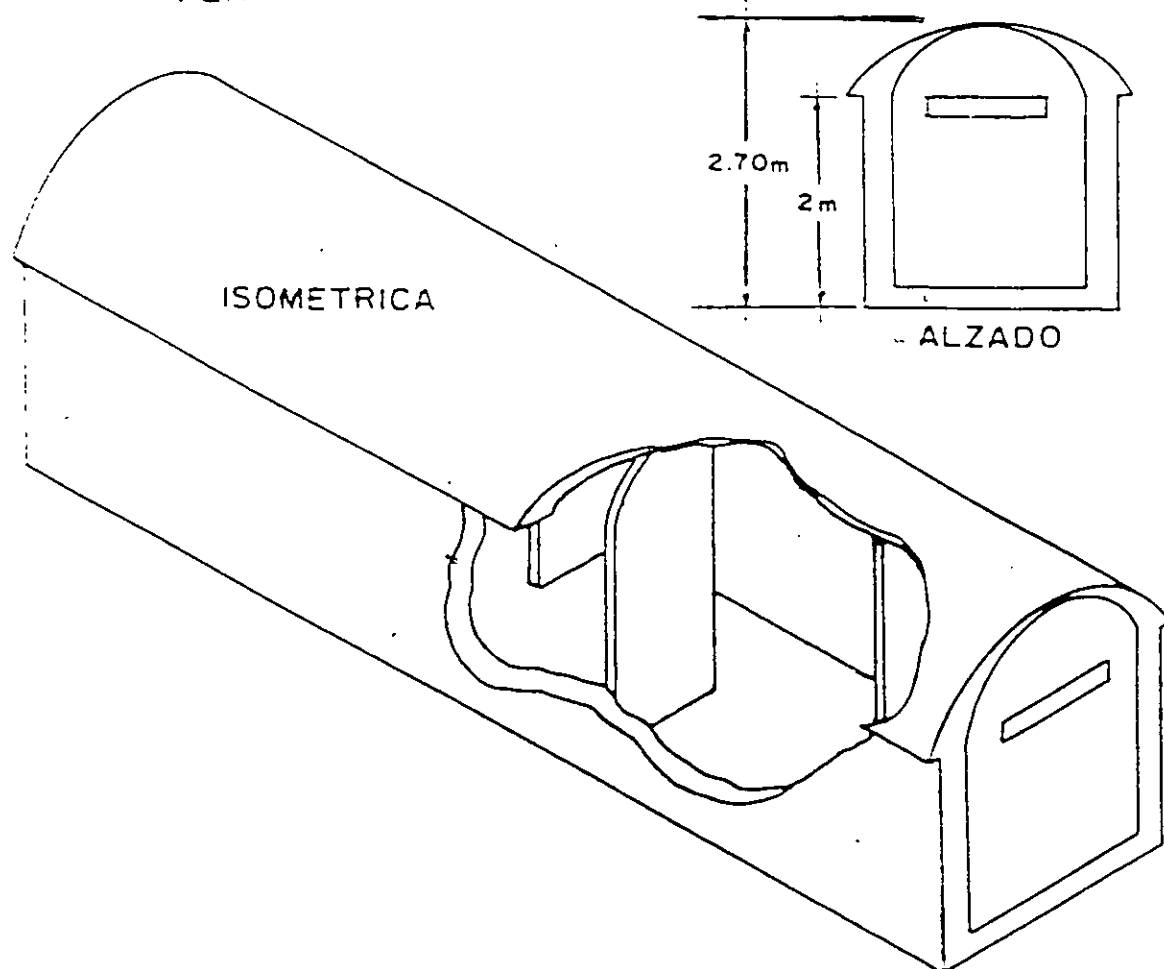


Figura 11. 11. Digestor de desplazamiento horizontal (Guatemala).
 (Basado en Mandujano et al., 1981).

CORTE



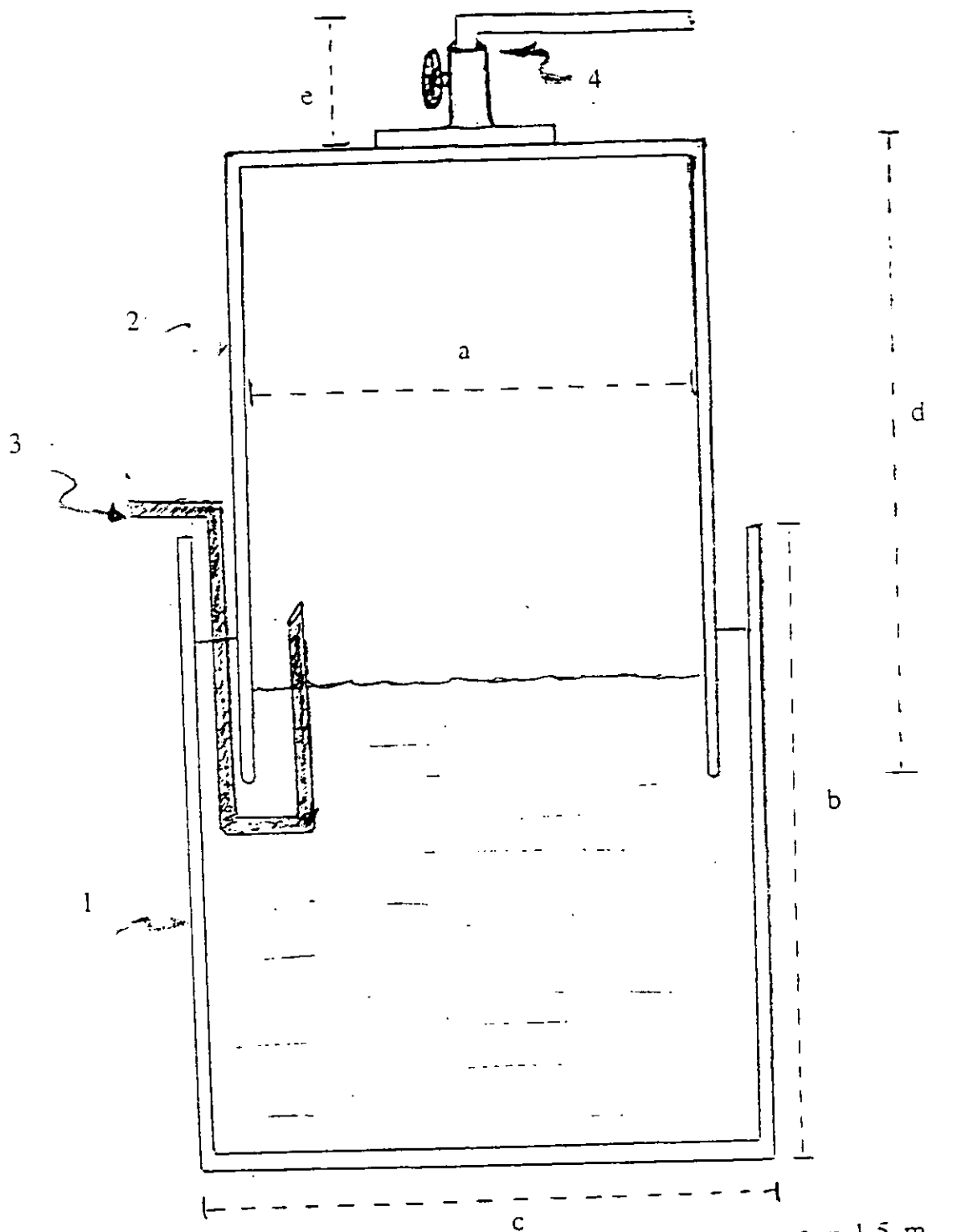
PLANTA



ISOMETRICA

ALZADO

Figura 11. 12. Plano esquemático de un digester de desplazamiento horizontal de 50 m^3 . (Tomado de Mandujano et al., 1981).



- 1) Tanque contenedor del agua
- 2) Tanque contenedor del gas
- 3) Línea de recolección del gas
- 4) Línea de distribución del gas

$$\begin{aligned}
 a &= 1.5 \text{ m} \\
 b &= 2.0 \text{ m} \\
 c &= 1.8 \text{ m} \\
 d &= 2.0 \text{ m} \\
 e &= 0.30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Figura 11. 13. Gasómetro de 2.5 m^3 de capacidad, suministrador de gas mediante el sistema de desplazamiento de agua. (Tomado de Mandujano et al., 1981).

REGION	ESTADO
I	Chihuahua , Baja California Norte, Sonora, Baja California Sur.
II	Durango, Sinaloa y Zacatecas.
III	San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila.
IV	Jalisco, Nayarit, Colima y Aguascalientes
V	Michoacán, México y Guanajuato
VI	Oaxaca, Veracruz y Morelos.
VII	Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.
VIII	Guerrero.
IX	Puebla, Hidalgo y Tlaxcala.
X	Campeche.
XI	D. F. y Querétaro.

11. 7) APÉNDICE G. Regionalización de la República Mexicana por Estados usada en esta tesis. (Basado en CNIF. MÉXICO, 1971).