

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD REGIONAL LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DIGESTOR: UNA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DEL
BIOGAS “LIMPIO” A TRAVÉS DEL EXCREMENTO DE ANIMALES**

POR:

YAZMIN ARACELI MUÑOZ RIVERA

MONOGRAFIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2011

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



MONOGRAFIA

**DIGESTOR: UNA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DEL
BIOGAS "LIMPIO" A TRAVÉS DEL EXCREMENTO DE ANIMALES**

POR

YAZMIN ARACELI MUÑOZ RIVERA

ASESOR PRINCIPAL

ING. RUBI MUÑOZ SOTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DIGESTOR: UNA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DEL
BIOGAS "LIMPIO" A TRAVÉS DEL EXCREMENTO DE ANIMALES**

MONOGRAFIA DEL C. **YAZMIN ARACELI MUÑOZ RIVERA** QUE SE SOMETE
A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE:



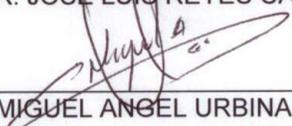
ING. RUBI MUÑOZ SOTO

VOCAL:



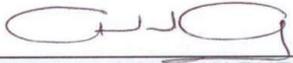
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:



M. C. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTINEZ

VOCAL SUPLENTE:



M.C. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA



DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA MATER** por todas las facilidades y oportunidades que me brindó durante mi estadía en esta institución y haberme otorgado la oportunidad de ser parte de una de las tantas generaciones que culminan satisfactoriamente sus estudios profesionales.

A mis asesores M.C. Rubí Muñoz Soto, DR. José Luis Reyes Carillo, M.C. Miguel Ángel Urbina Martínez, M.C. Cynthia Dinorah Ruedas Alba, que me brindaron su apoyo, su ayuda para poder terminar este trabajo y poder realizar mi sueño de tener mi título de ING. EN PROCESOS AMBIENTALES. A todos ustedes gracias.

A mis amigos Gerardo y María que siempre estuvieron cuando los necesite y me ayudaron incondicionalmente durante estos años, gracias amigos.

A todos ustedes y a aquellos que de manera voluntaria e involuntaria han contribuido a mi formación profesional les doy las gracias de todo corazón y que Dios los bendiga siempre.

DEDICATORIAS

A Dios por iluminar mi camino y darme los conocimientos necesarios para lograr alcanzar mis sueños.

A mis padres, Juan Muñoz Domínguez y Araceli Rivera Camacho, Este trabajo final es para mis padres a quienes amo y admiro por darme la vida y hacer de mí una persona con valores, les doy las gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida y a pesar de las adversidades siempre pude contar con ustedes, por este y otras cosas los admiro y respeto.

A mi hermana Mirna Lizeth Muñoz Rivera, por compartir tantos momentos agradables y divertidos, por estar siempre juntas en las buenas y en las malas gracias por ser mi hermana.

INDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE CUADROS	
RESUMEN	vi
1.- INTRODUCCION	1
2.- TIPO DE DIGESTORES	2
2.1.- De alimentación continua	2
2.2.- Digestor tipo plug flow	2
2.3.- De balón de Plástico	2
2.4.- De tapón de flujo	2
2.5.- Otros tipos de Digestores	3
2.5.1.- Digestores tipo cobertura de laguna	3
2.5.2.- Digestor convencional	3
2.5.3.- Digestor con agitador	4
2.5.4.- Digestor de filtro anaeróbico	5
2.5.5.- Digestor de contacto anaeróbico	5
3.- Criterios de diseño	6
3.1.- Operación	7
3.2.- Seguridad	7
4.- LAS RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION Y MANEJO DE LOS DIGESTORES, RELACIONADAS CON:	8
4.1.- Elección del lugar	8
4.2.- Ambiente	9
4.3.- Manejo	9
5.- VENTAJAS DE LOS DIGESTORES	10
5.1.- Relacionadas con el medio ambiente	10
6.- BIOGAS	11
6.1.- Características del Biogás	13
6.2.- Parámetros de operación del Sistema de generación de biogás	14
7.- EL EFLUENTE	14
8.- ETAPAS INTERVINIENTES	15
8.1.- Fase de Hidrólisis	15
8.2.- Fase de Acidificación	15
8.3.- Fase de Metanogénica	15
9.- DIGESTION ANAEROBICA	16
10.- PURIFICACION DEL BIOGAS	17
11.- BIOFERTILIZANTE	19
11.1.- Aplicación del Biofertilizante	20
12.- FACTORES A TENER EN CUENTA PARA UN ADECUADO	20

FUNCIONAMIENTO DEL DIGESTOR	
12.1.- Bacterias	21
12.1.1.- Tipos de bacterias presentes en el proceso.	21
12.2.- Ambiente Anaeróbico	22
12.3.- pH	23
12.4.- Temperatura	23
12.5.- Cantidad de agua	23
12.6.- Carga de agua del digestor	24
12.7.- Acido volátiles	24
12.8.- Alcalinidad	24
12.9.- Sólidos totales y Sólidos volátiles	24
12.10.- Relación carbono Nitrógeno (C: N)	24
12.11.- Nutrientes	25
13.- TIEMPO DE RETENCION	25
14.- MATERIA PRIMA	26
14.1.- volumen liquido	28
14.2.- volumen gaseoso	28
15.- PROBLEMAS DE TOXICIDAD	29
16.- Estimación del biogás diario producido	29
16.1.- ST: sólidos totales	39
16.2.- SV: sólidos Volátiles	30
16.3.- PB: Producción de biogás	30
16.4.- Ejemplo de estimación de producción de biogás	30
17.- COMPONENTES DEL SISTEMA	31
18.- CAMARA DE DIGESTION	31
19.- ALMACENAMIENTO DEL BIOGAS	32
20.- USO	33
21.- BENEFICIOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS	34
22.- BIBLIOGRAFIA	35

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1	Composición química del biogás	12
Cuadro 2	Características de los gases combustibles	13
Cuadro 3	Eliminación de microorganismos durante la digestión anaeróbica	21
Cuadro 4	Tiempo de Retención	26
Cuadro 5	Animales productores de metano	27
Cuadro 6	Clasificación de estiércol aplicado a los sistemas de biogás	28
Cuadro 7	Animales con mayor producción de biogás	30
Cuadro 8	Uso del biogás, consumo y tiempo	33
Cuadro 9	Biogás en comparación con otros combustibles	34

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Digestor tipo cobertor de laguna	3
Figura 2	Digestor convencional	4
Figura 3	Digestor con agitador	4
Figura 4	Digestor de filtro anaeróbico	5
Figura 5	Digestor de contacto anaeróbico con agitador	6
Figura 6	Accesorios para el Digestor	8
Figura 7	Esquema del biogás	12

RESUMEN

Una de las maneras de contrarrestar el calentamiento global y transformar este residuo contaminante en un recurso valioso, es su aprovechamiento controlado en digestores para la producción y captación de biogás, su aprovechamiento energético y la producción de fertilizante orgánico. El aprovechamiento de la biomasa es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

Por las anteriores razones el desarrollo y utilización de digestores ha sido llamado “la tecnología milagrosa”. Sin embargo, aun hoy, muchos años después de que los digestores y su utilización rural han sido desarrollados, solamente una proporción relativamente pequeña de campesinos los emplean. La limitada utilización de digestores es debida a que los beneficios, particularmente económicos, no son claramente justificados si se comparan con la mano de obra y los costos involucrados en la construcción, funcionamiento y nivel de producción de biogás y fertilizante por cada unidad de materia orgánica utilizada en los digestores tradicionales de alto costo.

PALABRAS CLAVES: Energéticos, Biomasa, Materia orgánica, Residuo, Fertilizante.

1 INTRODUCCION

Con el propósito de ubicar el tema, resulta imprescindible señalar que un digestor es el recipiente dentro del cual, se transforma la materia orgánica en la producción de gas. Para su construcción, se pueden utilizar diferentes materiales como: plástico salinero, tubo de PVC, zinc, pegamento, cemento, arena, varilla de construcción, entre otros (Sáenz, 2001).

La primera planta de digestión fue construida en una colonia de leprosos, en Bombay, India 1859. Los digestores anaerobios se extendieron en Inglaterra en 1895, cuando el biogás fue recuperado en un "Proyecto Cuidadoso", y usado como combustible en las lámparas externas de las calles. Uno de los países que mayor interés ha mostrado por las fuentes de energía no convencionales, y en especial por la producción de biogás, ha sido Alemania (Hernández et al 2006).

En 1920, Imhoff puso en práctica el primer digestor en Alemania. Éste consistía en un estanque hermético, el cual era alimentado con material fermentable, para la obtención de biogás. Es decir, de forma muy simplificada, el digestor es un tipo de cámara cerrada en la cual la biomasa (generalmente excretas animales mezcladas con agua) sufre fermentación. El resultado de este proceso es la liberación de biogás y Biofertilizante. Con los bajos precios de los combustibles fósiles después de la Segunda Guerra Mundial, cerca de 40 digestores que se construyeron en Alemania tuvieron su desarrollo frenado (Díaz y *Noguera*, 2007).

Después de la Segunda Guerra Mundial se construyeron cerca de 40 digestores, pero su desarrollo se frenó por los bajos precios de los combustibles fósiles. La siguiente ola de construcción de Biodigestores se produjo en los años 70's por la crisis del petróleo, pero por problemas técnicos, baja producción de gas y alta inversión, este desarrollo se frenó bruscamente a fines de los años 80's. Con la nueva legislación eléctrica del año 1991 en Alemania, los agricultores que producían electricidad recibieron un pago por kWh producido y entregado a las empresas de distribución, lo cual produjo una segunda ola de construcción de

digestores que aún no termina. Una nueva ley de energía renovable mejora en un 30 % el precio de compra a los pequeños productores (Hernández et al 2006).

2 TIPO DE DIGESTORES

En la construcción de digestores se han probado muchos tipos de construcciones, buscando una mayor eficiencia en la producción y un menor costo de inversión. Entre los diseños más utilizados se encuentran (Abelson et al 2005).

2.1. De alimentación continúa:

En este tipo de digestores la alimentación de la biomasa se efectúa en intervalos regulares; por razones prácticas, estos digestores son alimentados intermitentemente, esto se logra aprovechando la gravedad para la alimentación. Ejemplos de este tipo de digestores son el “Digestor Hindú” y el “Digestor Chino” (Bottinger et al 2008).

2.2. Digestor tipo plug flow:

Diseñado por Reinhold y Noack en Darmstadt, Alemania, en la década de 1950. Se construye en forma de canal horizontal con concreto reforzado en el que se depositan los residuos con alto contenido de sólidos. Cuenta con agitadores, que trabajan varias veces al día (Aguilar y Botero, 2000).

2.3. De balón de plástico:

Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, polietileno o geomembrana de PVC, completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75 % de volumen) se rellena con la carga, mientras que la parte superior de la bolsa (25 %) se deja como espacio para captar el biogás que se produce, el cual posteriormente es enviado a un almacén de gas fabricado también con alguno de los materiales mencionados (Hernández et al 2006).

2.4. De tapón de flujo:

Consiste en una zanja construida con concreto o con una membrana

impermeable. El digestor se cubre con una cubierta flexible anclada al suelo, al concreto o al acero galvanizado. Estos tanques especiales son rectangulares y tratan residuos que contengan de 11 % a 13 % total de sólidos (Aguilar y Botero, 2000).

2.5. Otros tipos de Digestores.

2.5.1. Digestor tipo cobertor de laguna:

Este consiste en cubrir parte de un pantano o laguna, para aprovechar la biomasa presente en los sedimentos del pantano. La figura, muestra la técnica utilizada para el aprovechamiento de la biomasa de la laguna utilizando un biodigestor anaeróbico (Domínguez y Ly, 2005).

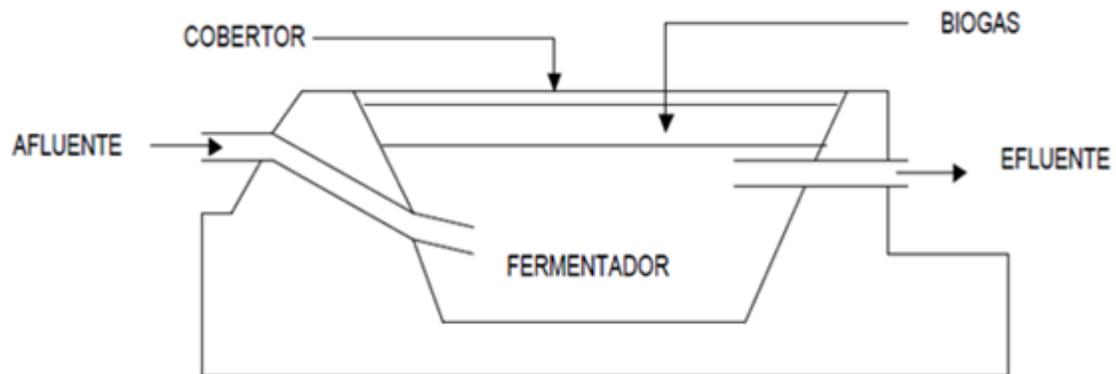


Figura 1. Digestor tipo de cobertor de laguna.

2.5.2. Digestor Convencional:

El dispositivo más simple de este tipo está formado por un recipiente cerrado, de base cónica saliente, dotada con un conducto lateral para la entrada de los residuos, otro superior de escape del gas y un tercero inferior para evacuar los demás productos de la digestión (Domínguez y Ly, 2005).

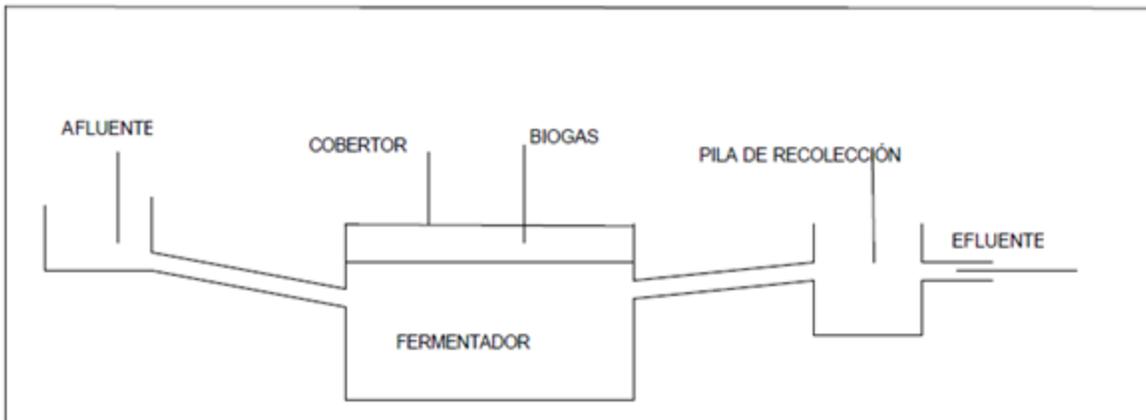


Figura 2. Digestor convencional.

2.5.3. Digestor con agitador:

Estos digestores son más perfeccionados, disponen de un agitador y de un calefactor que regulan la homogeneidad y la temperatura del proceso. En la figura se muestra un biodigestor con agitador (Atakora et al 2001).

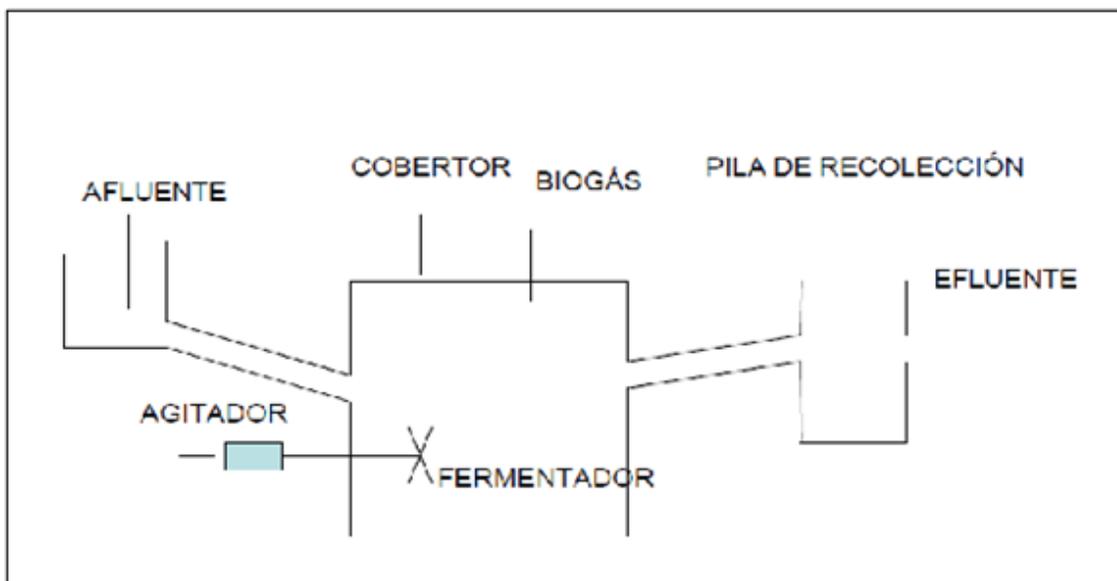


Figura 3. Digestor con agitador

2.5.4. Digestor de filtro anaeróbico:

Estos cuentan además de agitador y calefactor de otros sistemas para enriquecer la flora bacteriana (Domínguez y Ly, 2005).

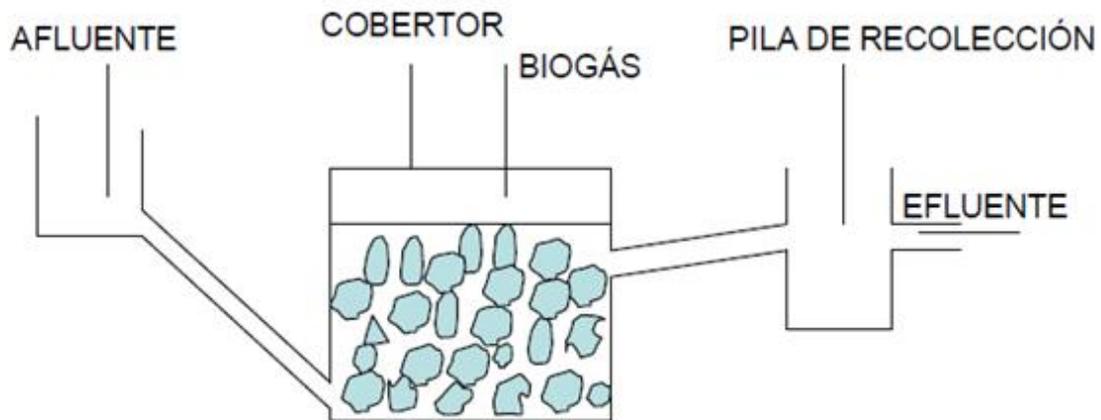


Figura 4. Digestor de filtro anaeróbico.

2.5.5. Digestor de Contacto Anaeróbico:

Este tipo de digestor cuenta con una pila de sedimentación de efluente para la eliminación de sólidos suspendidos, incluyendo microorganismos, los cuales son separados y revueltos al digestor (Alcayaga et al 1999).

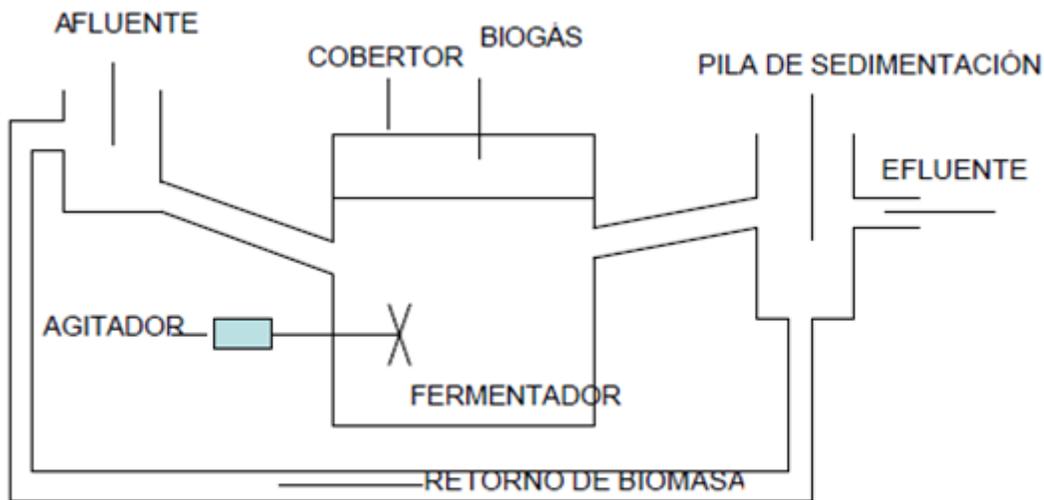


Figura 5. Digestor de contacto anaeróbico con agitador.

3 CRITERIOS DEL DISEÑO

El principal objetivo del diseño de un digestor es alcanzar un alto contenido de biomasa dentro del mismo que permita una alta producción de biogás y una alta reducción de la DQO por unidad de volumen del digestor. Otro parámetro de la degradabilidad de los residuos es la demanda biológica de oxígeno (DBO) que es el consumo del oxígeno disuelto al cabo de 5 días a 20°C debido a la actividad metabólica de los microorganismos presentes. Tanto la DBO como la DQO son proporcionales al contenido de materia orgánica en la suspensión a degradar, pero la primera es más representativa de la digestibilidad de la misma. También puede usarse el valor de carbono orgánico total (COT) que se obtiene midiendo el CO₂ formado en la pirolisis (Gómez et al 2000).

Las consideraciones para el diseño de una planta de biogás en áreas rurales, incluyen la cantidad y el tipo de desperdicios disponibles, el tamaño de los trozos o partículas del mismo, el requerimiento de calefacción, la necesidad de agitación, la disponibilidad de materiales de construcción. Todos estos factores, excepto el último, son importantes para determinar la cantidad de gas a producir y su contenido en metano, pues bajo condiciones ambientales óptimas para la

digestión, la cantidad de gas producido es proporcional a la cantidad de residuos agregados (Dahlman y Forst, 2001).

3.1. Operación

La carga inicial requiere una gran cantidad de materia prima que conviene reunir mientras se está construyendo el digestor. Dado que ya sufre una transformación antes de ser introducida se debe controlar el pH, así como asegurar el agregado de estiércol fresco u otro material que contenga los microorganismos necesarios, por ejemplo lodo de un digestor de aguas cloacales (Zapata 2003).

El éxito de un digestor depende de la radicación y mantenimiento de los organismos acidificantes y metanogénicos en forma equilibrada. Si el digestor acumula ácidos volátiles como resultado de una sobrecarga, la situación puede corregirse por la resiembra de organismos, la suspensión temporaria de la alimentación o el agregado de cal. Durante las primeras semanas el productor necesitará la asesoría técnica hasta que el sistema esté en régimen (Carmona et al 2005).

3.2. Seguridad

La regulación y utilización del biogás comprende la instalación de los siguientes accesorios: válvula de seguridad por exceso de presión, válvula de seguridad por exceso de vacío, conexión flexible a la salida del digestor en el modelo hindú especialmente, manómetro de columna de agua, llave esclusa para cortar el suministro al realizar tareas de mantenimiento, trampa depuradora de H₂S, trampa de condensado de agua, válvula reguladora de la presión del gas (Carmona y Orozco, 2003).

Independientemente del tamaño del digestor, es necesario colocar un manómetro de agua. Si la presión es negativa por haberse retirado más efluente que la alimentación agregada, no se debe abrir los puntos de consumo de gas para evitar la llegada de aire al interior (Chara y Pedraza, 2002).

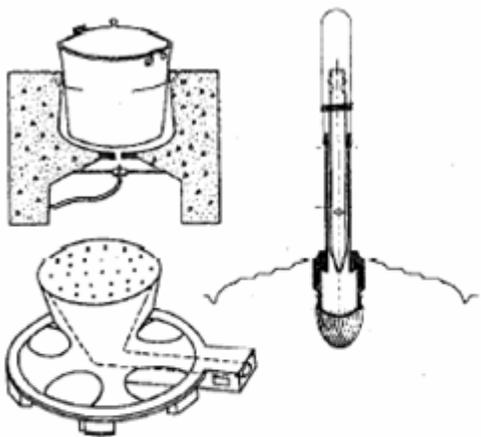


Figura 1 Accesorios para el uso del biogás: fogón, lámpara, quemador y arrestallamas.

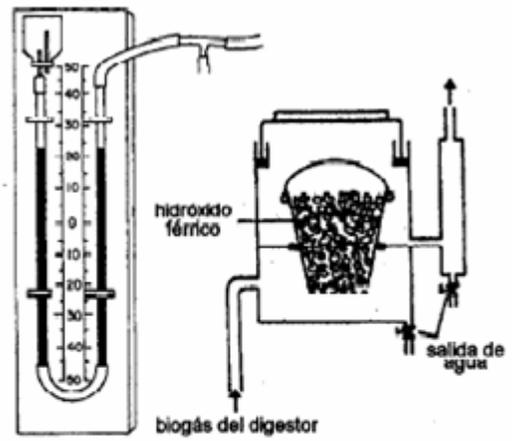


Figura 2 Manómetro de agua y depurador del biogás

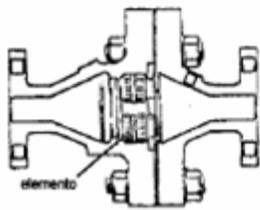


Figura 6. Accesorios para el Digestor.

La primera cantidad de gas producido debe ser venteadada pues generalmente está mezclada con aire, luego sólo habrá biogás en la cúpula del digestor chino o la campana del hindú. Por otra parte cuando se detiene un digestor para retirar los lodos se debe ventilar bien el interior pues el biogás es asfixiante (Bordeaux et al 2005).

4 LAS RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION Y MANEJO DEL DIGESTOR ESTAN RELACIONADAS CON:

4.1. Elección del lugar: la instalación debe encontrarse cerca al sector de generación de la materia prima.

4.2. Ambiente: la instalación se debería ubicar protegida de los vientos fríos del invierno, generalmente del sur, a fin de que la temperatura pueda mantenerse lo más constante. También se debe procurar que reciba la máxima insolación posible durante todo el año, evitando sombras prolongadas durante el día (Alcayaga et al 1999).

4.3. Manejo: el material para el biodigestor se prepara en una balsa o contenedor donde se diluirán la materia prima en agua dejando un porcentaje de sólidos totales del 8% aproximadamente (Antoni, 2007).

En el digestor se coloca la mezcla diluida preparada por primera vez, y se deja el tiempo necesario, según el volumen y temperatura, el cual puede variar entre 10, 20 ó 30 días, para que la flora se acondicione y empiece a actuar. Cuando el digestor comienza a funcionar, la cantidad de mezcla que se coloca dependerá tanto de lo extraído como de lo ya digerido. La frecuencia estará dada por la cantidad de biogás producido (Rivas et al 2010).

La campana o tapa debe ser de un material pesado que pueda resistir la presión ejercida por el gas.

La conversión en biogás de cada kilogramo de materia orgánica es mayor, a medida que se incremente el tiempo de retención. Esto se debe que a medida que la flora anaeróbica tiene más tiempo para actuar sobre el material, mayor será su degradación y, mejor será el rendimiento en biogás por unidad de materia alimentada. También mejora la calidad de abono obtenido (Alcayaga et al 1999).

Para una instalación de tipo rural donde el digestor se entierra prácticamente todo se debe adoptar un tiempo de residencia del orden de los 35 a 40 días como solución de compromiso entre todas las variables (Decora et al 2004).

5 VENTAJA DE LOS DIGESTORES

Los digestores tienen múltiples ventajas, las principales son ambientales, entre las cuales se encuentran (Weiland 2000):

5.1. Relacionadas con el medio ambiente:

- Reducción de la producción de gas metano. El excremento en estado natural expulsa grandes cantidades al espacio de este gas, que es uno de los más perjudiciales para la capa de ozono.
- Evita los malos olores entre el 90 y 100%. Esta situación es la que perjudica a los vecinos que habitan cerca de las actividades pecuarias (porquerizas) y provoca gran cantidad de quejas ante el Ministerio de Salud.
- Se evita en un 100% la contaminación de suelos y agua. Los excrementos constituyen uno de los elementos más contaminantes de nuestro medio ambiente.
- Se evita la tala de árboles para ser utilizados en la cocción; los digestores son una de las grandes posibilidades para evitar la tala desmedida que se está dando.
- Producción de fertilizante orgánico; es una opción para cambiar la agricultura tradicional por una orgánica, el afluente del biodigestor es una excelente alternativa.
- No se produce humo; este es uno de los males que afectan la salud de las amas de casa que cocinan con leña, liberando gran cantidad de CO₂ a la atmósfera.
- No se da la proliferación de insectos. En las actividades pecuarias abundan los insectos, especialmente moscas y zancudos.
- La leña que se utilizaría en la cocción de los alimentos se deja en el campo y tiene gran importancia como abono orgánico, a la vez también

retiene la escorrentía del agua y permite mejorar las condiciones del suelo; ejemplo: leña de café (Weiland 2000).

6 BIOGÁS

A pesar de los impactos negativos sobre la salud y el medio ambiente, el biogás se puede utilizar como una fuente potencial de energía debido a su alto poder calórico promedio de 20 MJ/m³. Es así como el biogás puede utilizarse de forma directa como energía térmica o generando energía eléctrica o puede ser quemado para reducir el contenido de metano a dióxido de carbono y agua (Camargo y Vélez, 2007).

El biogás es incoloro, inodoro e insípido, por lo que es difícil detectarlo; pero por tener una densidad menor que la del aire su peligrosidad asfixiante y explosiva disminuye al construir locales altos y con ventilación (Carmona et al 2007).

La temperatura crítica del metano es – 82° C (116.5° F) y una presión crítica de 45.8 kg / cm² (673 psi), características que obligan a utilizar el gas en su estado natural, ya que el equipo para licuarlo consume demasiada energía y lo hace incosteable en unidades de poca producción (López 2007).

La tecnología del biogás entre otros procesos (incluyendo térmica, pirolisis, la combustión y gasificación) en los últimos tiempos ha sido también visto como una fuente muy buena de residuos de forma sostenible tratamiento y gestión, como la eliminación de residuos se ha convertido en un problema importante, especialmente a los países del tercer mundo (Ciro et al 2007).

El efluente de este proceso es un residuo rico en inorgánicos esenciales elementos como el nitrógeno y el fósforo necesarios para el crecimiento sano de la planta conocida como Biofertilizante que cuando se aplica al suelo se enriquece sin efectos perjudiciales sobre el medio ambiente El contenido de biogás varía con el material que se descompone y el medio ambiente condiciones de participar.

Potencialmente, todos los materiales de desechos orgánicos contienen cantidades adecuadas de los nutrientes esenciales para el crecimiento y el metabolismo de las bacterias anaerobias en biogás de producción. Sin embargo, la composición química y la disponibilidad biológica de los nutrientes contenida en estos materiales varían según las especies, los factores que afectan al crecimiento y la edad del animal o vegetales (Akuzuo *et al* 2010).

Componentes	Formula química	Porcentaje
Metano	CH ₄	60-70
Gas carbónico	CO ₂	30-40
Hidrogeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Cuadro 1: composición química del biogás

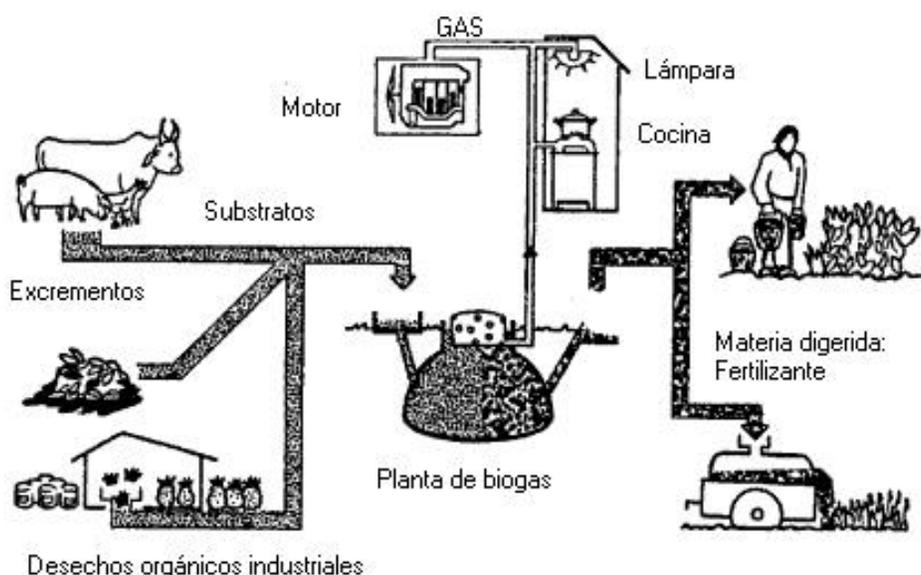


Figura 7. Esquema del biogás

se puede apreciar un sistema típico de biogás donde se tiene los diferentes desechos orgánicos producidos en la industria y la agricultura, los cuales ingresan al digester donde se fermentan para producir biogás para ser utilizado en la cocción, iluminación, generación, etc. y el efluente utilizado como abono (Acosta et al 2007).

6.1. Características del biogás

El poder calorífico del biogás es de 5.96kwh/m³; lo cual equivale más o menos a ½ litro de diesel por metro cubico de biogás. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos utilizados (Martí 2008).

En el sig. Cuadro se puede observar seis diferentes tipos de gases incluyendo el metano y biogás, donde se representa las características de mayor importancia. El biogás tiene el menor poder calorífico, después del gas de ciudad, lo que indica que se necesita mayor volumen de este gas para poder igualar la energía eléctrica que genera el gas propano, el cual es más usado en actividades domesticas e industriales para igualar los 25.96 KwH que produce un m³ de gas propano, necesitan 4.36 m³ de biogás (Cheon et al 2008).

Clase de Gas	Composición		Poder Calorífico	Densidad	Vel. De Llama	Dem. De aire
	Compon.	%	kwh/m3	Kg/m3	cm/s	m3/m3
Metano	CH4	100	9.94	0.554	43	9.5
Propano	C3H8	100	25.96	1.556	57	23.8
Butano	C4H10	100	34.02	2.077	45	30.9
Gas Natural	CH4;H2	65;35	7.52	0.384	60	7
Biogás	CH4;CO2	60;40	5.96	0.94	40	5.7

Cuadro 2: características de los gases combustibles

Las presiones a las que con regularidad se comprime el biogás son de 7 a 10 kg / cm2 en instalaciones pequeñas, de 28 a 35 kg / cm2 en instalaciones de

tratamientos de aguas negras de tamaño regular y de 135 a 200 kg / cm² en grandes instalaciones (Díaz y Noguera, 2007).

Analizando en su conjunto, como mezcla de estos gases, el biogás tiene las siguientes propiedades:

- _ Grado de inflamación: 6 – 12% de volumen en aire.
- _ Temperatura de inflamación: 600 °C.
- _ Presión crítica: 82 bar
- _ Temperatura crítica: - 82,5 °C
- _ Densidad: 1,2 kg / m³.
- _ Poder calorífico (90% CH₄): 7.600 kcal / m³ (Pérez 2007).

6.2. Parámetros de operación del sistema de generación de biogás

Los procesos bacterianos y enzimáticos de la digestión anaeróbica son sensibles a variación en temperatura, contenido de agua, y composición general de la mezcla en el digester. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire del digester de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica. En consecuencia, el tanque del digester debe estar herméticamente cerrado (Chinese y Van1999).

7 EL EFLUENTE

Uno de los subproductos de la producción del biogás en el digester es el efluente. El efluente es el material resultante del proceso de descomposición de la materia orgánica introducida en el digester. En muchos países este material es usado como fertilizante orgánico (Apaza et al 2005).

El efluente de un digester es un material sumamente útil por sus características y propiedades como fertilizante, mejorador físico y químico del suelo. Una de las ventajas de la tecnología del biogás es que puede incrementar en más del 25 % el rendimiento de las cosechas o huertos, con el empleo del material o lodo que se extrae del digester (bio-abono), después del proceso de fermentación y producción del biogás (Díaz y Nogueira, 2007).

8 ETAPAS INTERVINIENTES.

Diferentes etapas intervinientes y sus principales características.

8.1. Fase de hidrólisis:

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono (Zapata 2003).

8.2. Fase de acidificación:

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono (Anuj et al 2010).

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético (Botero 2007).

8.3. Fase metanogénica:

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre (Kellner et al 2007).

9 DIGESTION ANAEROBICA

La digestión, consiste en una fermentación anaeróbica que se efectúa dentro de un digester; en el cual la materia orgánica se descompone sin el oxígeno atmosférico para dar como resultado agua, dióxido de carbono y metano. Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada. El metano constituye el componente más importante del biogás, ya que le confiere las características combustibles al mismo. Así, el valor energético del biogás queda determinado por la concentración de metano que presenta un valor energético de 20m³-25m³, en comparación con el gas natural que a su vez presenta 33m³-38m³ (Hernández et al 2006).

Los procesos anaeróbicos pueden ser manejados en un "digester" (un hermético buque) o una laguna cubierta (un estanque para almacenar el estiércol) para los residuos el tratamiento. Los principales beneficios de la digestión anaerobia son nutrientes reciclaje, tratamiento de residuos y control de olores. El biogás producido en digestores anaerobios compuesta de metano (50% -80%), carbón de óxido de (20% -50%) y los niveles de trazas de otros gases como el hidrógeno, el carbono de óxido de nitrógeno y de sulfuro de hidrógeno. El porcentaje relativo de estos gases en el biogás depende de la materia prima y el gestión del proceso (Achabe *et al*, 2008).

Un proceso de digestión anaeróbica ocurre en ausencia de oxígeno, y las bacterias descomponen los hidratos de carbono que se en los productos de desecho. Esto libera biogás que es una mezcla de metano (CH₄), el ácido sulfhídrico (H₂S), el carbono dióxido de carbono (CO₂), y el hidrógeno (H₂) de los gases. El contenido de metano de los rangos de 50 a 80%, y depende de la tipo de sustrato y las condiciones de funcionamiento. Contenido de metano en el biogás se puede aumentar por el tratamiento más (secado, la desulfurización, etc.) El dióxido de carbono es el principal componente segundo. Su contenido varía de 20 a 40% en el biogás y, con H₂S, es uno de los primeros con que se generará (Anuj *et al* 2010).

La escasez de combustibles líquidos convencionales y ritmo alarmante de las emisiones de los motores de combustión interna y posterior la contaminación del medio ambiente ha generado intereses en el desarrollo de nuevas alternativas de combustibles derivados del petróleo. El Biogás, que parece ser un prometedor combustible para cocinar, iluminación, corriendo vehículos y de generación de energía, etc. pueden ser directamente utilizados en motores de encendido por chispa como un combustible alternativo (miah et al 2005).

El biogás es producido cuando ciertas bacterias descomponen la materia biológica, en un ambiente anaerobio, conocida como la digestión anaeróbica (AD). Se trata de un 20% más ligero que el aire atmosférico y tiene una temperatura de ignición en el rango de 6500C a 7500C. Se trata de un gas inodoro e incoloro que arde con llama de color azul claro similar a la de Gas Licuado de Petróleo y quemaduras con 60% de eficiencia en una estufa convencional biogás (sundar *et al* 2009).

La población rural reúne las necesidades de energía en su mayoría de la biomasa tradicional combustibles que comprende de los residuos agrícolas (45%), madera y residuos de madera (35%), y el estiércol de los animales (20%). En general, la biomasa se calcula que representa más de la mitad (62%) del consumo de energía. Sin embargo, la quema extensiva de los recursos de la biomasa, cocinar en especial de biomasa estufas solar puede acabar con una baja eficiencia (eficiencia 15.5%) de energía de producción, puede conducir a alta presión sobre el bosque recursos, la contaminación del aire por el humo, peligro para la salud pública (por ejemplo, infección en los ojos, enfermedades respiratorias y tos) (Ashekuzzaman *et al* 2010).

10 PURIFICACION DEL BIOGAS

La purificación del biogás no es más que la remoción del dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor del biogás como combustible. El sulfuro de hidrógeno se elimina para disminuir el

efecto de corrosión sobre los metales que están en contacto con el biogás (Kon et al 2006).

A medida que la humedad es menor, la facilidad de combustión es mayor. El agua puede ser eliminada si se pasa el gas a través de cal viva, aunque con ello se afecta el porcentaje de bióxido de carbono (Anuj, 2010).

La presencia de bióxido de carbono en el gas presenta el aspecto más grave: reduce el poder calorífico del combustible, y aún más, aumenta la capacidad de almacenamiento así como incrementa la presión de los tanques de almacenamiento. Esto también es causa de baja efectividad en el momento de la combustión de gas, pues requiere algo del calor producido para elevar su temperatura de ignición (Ramírez, 2003).

A pesar de esto, la operación de absorción resulta sencilla mediante el paso del gas a través de agua de cal. El uso de este absorbente deja de ser práctico y costeable cuando se trabaja a gran escala, en este caso, se emplean sustancias como dietil amina, trietil amina, hidróxido de calcio, carbonato de potasio e hidróxido de potasio. Un análisis de costo – beneficio de la ganancia de poder calorífico contra consumo de reactivos, de agua y de energía llevarán sin duda a concluir que es más ventajoso usar el gas con CO₂ (Bottinger et al 2008).

El hidrógeno aumenta el poder calorífico del gas, por lo que no es necesario eliminarlo. Por otro lado, el ácido sulfhídrico se presenta en pequeñas cantidades, casi imperceptibles, cuando el ciclo de digestión se alarga más de treinta días. Esta componente afecta cuando el gas se utiliza en la operación de maquinaria, pues ayuda al deterioro del metal; si el uso que se le da al gas es sólo para combustión, la eliminación del ácido sulfhídrico no es de importancia (Ciro et al 2007).

El método químico más simple y eficiente de remoción del dióxido de carbono es su absorción en agua de cal. El método necesita mucha atención por cuanto el agua de cal se agota y necesita cambiarse frecuentemente, lo que trae como consecuencia su preparación frecuente si no se obtiene comercialmente. El agua de cal puede sustituirse por una solución acuosa de etanolamina, la cual absorbe el dióxido de carbono (y también el sulfuro de hidrógeno). Aunque este proceso es caro para hacerlo rutinario en la purificación del biogás debido al calentamiento periódico al que tiene que ser sometida esta sustancia para su regeneración (Apaza et al 2005).

Otra alternativa es utilizar otro residual fuertemente alcalino como medio de absorción de estos gases como son los efluentes de cultivos de micro algas. El líquido efluente del digestor es vertido directamente en un tanque de gran tamaño para producir el alga Spirulina. El alga es filtrada para ser usada como alimento de cerdos o patos, o bien como aditivo y el agua residual que tiene un valor de pH de 10 o más y es almacenada en un tanque cilíndrico. Esta agua se hace atravesar en contracorriente al biogás. El agua que queda como resultado de esta reacción contiene carbonato de hidrógeno la cual es rehusada en el cultivo de las algas (García y Lopez, 2003).

El dióxido de carbono es bastante soluble incluso en agua neutral (878 cc / litro a 20° C) bajo presión atmosférica, así que el lavado con agua ordinaria es quizás el método más sencillo de eliminación de impurezas. El CO₂ es soluble en agua mientras que el metano no lo es. A alta presión, la solubilidad del CO₂ aumenta proporcionalmente permitiendo que la concentración de metano en el biogás se incremente (Gómez et al 2000).

11 EL BIOFERTILIZANTE

El efluente, el otro producto de la digestión anaeróbica, presenta una alta calidad para el uso como fertilizante agrícola, pues contiene materia orgánica con concentración reducida de carbono (se transforma en CH₄ y CO₂) y alta

concentración de fósforo. SU grado avanzado de descomposición permite que sus nutrientes sean absorbidas con mayor facilidad por el suelo (Moncayo y Rivera, 2003).

11.1. Aplicaciones del Biofertilizante

Existen diferentes experiencias en el uso del biol producido en un digestor y aquí se presentarán tres de ellas básicas explicadas de acuerdo a los tiempos de los cultivos.

- Inicialmente, cuando el terreno se hará, se puede usar el fertilizante recién salido del digestor para regar cada surco.
- El día antes de sembrar, se pueden introducir las semillas o grano en una mezcla de 1 a 1 de fertilizante con agua por un tiempo de 4 o 5 horas.
- Una vez en crecimiento la planta, se puede filtrar el fertilizante y fumigar (uso como fertilizante foliar) las plantas con una mezcla de una parte de fertilizante y 4 de agua. Funciona muy bien fumigar tras una helada, así como cuando ya comienza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a quemar la planta (Hernández et al 2006).

12 FACTORES A TENER EN CUENTA PARA UN ADECUADO FUNCIONAMIENTO DEL DIGESTOR.

12.1. Las bacterias

Las bacterias son adicionadas al proceso de biodigestión a través del material orgánico con el cual se alimenta el digestor. Tanto los desechos como el alimento animal contienen miles de bacterias por gramo, muchas de ellas son facultativamente aeróbicas y anaeróbicas (Miah *et al* 2005).

Cuadro 3: eliminación de microorganismos durante la digestión anaeróbica

Organismos	Temperatura, C°	Tiempo de residencia,	Eliminación,
------------	-----------------	-----------------------	--------------

		días	%
<i>Poliovirus</i>	35	2	98.5
<i>Salmonella typhi</i>	22-37	6	99
<i>Salmonella spp.</i>	22-37	6-20	82-96
<i>Mycobacterium bovis</i>	30	...	100
Quistes de protozoos	30	10	100
<i>Áscaris sp.</i>	29	15	90

12.1.1. Los tipos de bacterias presentes en el proceso son las siguientes:

- a) Las hidrolíticas, que producen ácido acético, de compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados.
- b) Las acetogénicas, productoras de hidrógeno.
- c) Las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético.
- d) Las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70 % de metano (CH₄), de 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO₂) (Carrillo 2003).

12.2. Ambiente anaeróbico

Los microorganismos principales en el proceso de biodigestión son anaeróbicos. En ambientes aeróbicos la descomposición de la materia orgánica produce CO₂ como fuente principal de energía, mientras que en ambientes anaeróbicos se produce principalmente metano. En el proceso deben mantenerse condiciones anaeróbicas, por eso los digestores son tanques cerrados (Carmona *et al* 2005).

Pequeñas cantidades de oxígeno que entran en el digestor pueden ser absolutamente dañinas a los formadores de metano y otros organismos anaeróbicos involucrados en el proceso. De ahí la necesidad de que el tanque de

biodigestión debe ser totalmente cerrado, lo que es deseable, ya que permite la recolección del biogás producido (Botero *et al* 2007).

12.3. pH

Se debe mantener el pH del digester en un rango de 6,5 – 7,5, lo cual se logra, con una adecuada operación del digester. Si el pH se torna muy ácido, las bacterias metanogénicas se inhiben y se aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás (Campos *et al* 2006).

Algunas de las causas por las cuales se puede acidificar la fase líquida dentro del digester son:

- Cambio excesivo en la carga
- No recibir carga por un largo tiempo
- Presencia de productos tóxicos dentro de la carga
- Cambios bruscos en la temperatura interna

Una de las formas más fáciles de corregir la acidez es adicionar agua con cal a la fase líquida (Bidlingmaler, 2006).

Las metanobacterias sólo podrán desarrollarse cuando está tan avanzada la fermentación de los substratos primarios como almidón, celulosa o péptidos por acción de las bacterias anaerobias facultativas (por ejemplo *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* o *Bacillus spp.*), que se haya consumido todo el oxígeno disuelto, de manera que el potencial redox se sitúe en un valor suficientemente bajo, menor que -200 mV. Además, el pH no debe disminuir demasiado debido a los ácidos como el acético o el butírico producidos por los *Clostridium*, para no inhibir el crecimiento de los metanógenos sensibles (Bottinger *et al* 2008).

12.4. Temperatura

La tasa de producción de biogás es directamente afectada por la temperatura debido a que, a medida que aumenta la temperatura, también aumenta la actividad metabólica de las bacterias. El rango óptimo para un buen trabajo de las bacterias metanogénicas es de 29 °C a 37 °C y 48 °C a 60 °C, fuera de estos rangos se da una reducción significativa en la actividad metabólica de las bacterias, que aún con la actividad metabólica reducida siguen vivas sin daño alguno (Araylci *et al* 2001).

Sin embargo, la producción de biogás aumenta a medida que aumenta la temperatura, pero que decrece a temperaturas superiores a 40 °C y explica que eso se da por la reducción del número de bacterias que pueden vivir a temperaturas superiores y por qué las bacterias termófilas son muy sensibles a cambios ambientales (Araylci *et al* 2001).

La tasa de fermentación anaeróbica de los sólidos orgánicos y su conversión parcial en biogás se encuentran directamente relacionadas con la temperatura interna de operación. La gama de temperatura para la digestión anaeróbica varía entre 10 y 60°C. Sin embargo las dos zonas óptimas son la mesófila (30-40°C) y la termófila (45-60°C). Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas mesofílicas y la digestión óptima se obtiene a unos 35°C. La velocidad de digestión a temperaturas superiores a 45°C es mayor que a temperaturas más bajas. Sin embargo, dentro de esta gama de temperaturas, las bacterias son sumamente sensibles a los cambios ambientales y el mantenimiento de estas temperaturas elevadas resulta costoso y a veces difícil (García y López, 2003).

12.5. Cantidad de agua

La proporción de agua - estiércol debe ser de por cada Kg de estiércol, se deben mezclar 4 litros de agua (Sogari 2003).

12.6. Carga diaria del digestor

Una vez instalado el digestor, éste debe ser alimentado diariamente con una mezcla de estiércol y agua. El proceso desde que la mezcla entra al digestor tarda entre 30 – 50 días, dependiendo de la temperatura de la zona. El biogás empezará a salir en ese tiempo. Una vez que ha empezado a salir del biogás, este proceso seguirá de forma continua, siempre y cuando el biodigestor se alimente todos los días en la cantidad mencionada anteriormente (García y López 2003).

12.7 Ácidos Volátiles

Los ácidos volátiles son indicadores de la cantidad de alimento que hay disponible para la formación de metano. Sin embargo, una excesiva cantidad de ácidos pueden envenenar la mezcla y bajar el pH, ocasionando así una disminución en la producción de biogás (Kon *et al* 2006).

La cantidad de material orgánico alimentado al digestor influye directamente en la producción de ácidos volátiles, la degradación de la materia orgánica tiende a disminuir el pH, pero este efecto es contrarrestado por la degradación de los ácidos volátiles y por la formación de un buffer de bicarbonato durante la formación de metano. Un mal manejo en la alimentación del digestor puede hacer que se acumulen ácidos volátiles en el interior del mismo, con eso la operación normal del digestor se alteraría y por tanto la producción de biogás se reduciría y requeriría un reajuste del pH (Cheon *et al* 2008).

12.8. Alcalinidad

Ciertos materiales, tales como proteínas, expulsan el nitrógeno del amoníaco durante la biodegradación, y éste se combina con dióxido de carbono y agua para formar alcalinidad del bicarbonato del amonio. Así la alcalinidad de tal material orgánico aumentará durante el tratamiento. Un análisis de nitrógeno orgánico indicará el potencial para la formación de este tipo de alcalinidad (Sogari 2003).

12.9. Sólidos totales y sólidos volátiles

Los sólidos totales se pueden definir como los que quedan como residuo después de la evaporación del agua a 105 °C⁸⁸. De lo que se queda, la parte orgánica biodegradable se conoce como sólidos volátiles. Experimentos han demostrado que una carga en el digestor que contenga entre un 7 % y 9 % de sólidos es la óptima para la digestión. Del total de sólidos, normalmente entre un 70 % y 90 % son materia orgánica biodegradable, denominándose sólidos volátiles (Díaz y Noguera, 2007).

12.10. Relación Carbono Nitrógeno (C: N)

La composición del desecho utilizado en el proceso anaeróbico incide en la cantidad y calidad del biogás. Las bacterias formadoras de metano usan el carbono y el nitrógeno como sus principales fuentes de nutrición. La relación C: N es la de mayor importancia entre los nutrientes. La importancia del carbono es debido a que sirve como fuente de energía y la del nitrógeno porque ayuda en la formación de nuevas células (García *et al* 2006).

12.11. Nutrientes

Junto con una fuente de energía en forma de carbono orgánico, los microbios requieren nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que originan efectos complejos. Un nutriente esencial puede devenir tóxico para los microbios si su concentración se vuelve muy alta. En el caso del nitrógeno, es muy importante mantener un nivel óptimo en su concentración para que el digestor opere satisfactoriamente. Un desbalance consistente en un contenido alto de nitrógeno y una baja disponibilidad de energía causa una toxicidad por una indebida generación de amoníaco. Usualmente, los niveles de amoníaco (Kapdi *et al* 2004).

13 TIEMPO DE RETENCION:

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el T.R: coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor (Hoerz 2001).

En los digestores continuos y semi-continuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores (Gómez et al 2000).

El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material. La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el T.R., ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia. Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos (Chiranjivi 2000).

Materia Prima	T.R.H
Estiércol vacuno liquido	20-30 días
Estiércol porcino liquido	15-25 días
Estiércol aviar liquido	20-40 días

Cuadro 4: tiempo de retención

14 MATERIA PRIMA

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y residuos de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas. Cuando se llena una planta de

biogás, el excremento sólido debe diluirse con aproximadamente la misma cantidad de líquido, en lo posible orina. La máxima producción de gas que se puede conseguir a partir de una cantidad dada de materia prima depende del sustrato que se utilice (Camargo y Vélez, 2007).

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (Ciro et al 2007).

En correspondiente a estiércoles de animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos (Moncayo y Rivera, 2003).

Especie	Peso Vivo	Kg Estiércol /día	%CH4
Cerdos	50	4.5-6	65-70
Vacunos	400	25-40	65
Equinos	450	12-16	65
Ovinos	45	2.5	63
Aves	1.5	0.06	60
Caprinos	40	1.5	--

Cuadro 5: animales productores de metano

CLASIFICACION	CARACTERISTICAS
Estiércol crudo	Contenido de sólidos de 8-25% dependiendo del tipo de animal: se diluye o espesa de acuerdo a las necesidades.
Estiércol líquido	Contenido de sólidos <3%; es lavado con agua de donde está depositado; producción de biogás en clima cálido; asociado a la producción de cerdos.
Estiércol Slurry	Contenido de sólidos de 3-10%; es bombeado al sistema y se almacena en tanques; se mezcla con algo de agua.
Estiércol Semisólido	Contenido de sólidos 10-20%; puede ser usado si tiene menos de una semana; no requiere adición de agua.
Estiércol sólido	Contenido de sólidos >> a 20%; No es deseable para la producción de biogás al envejecer o secarse.

Cuadro 6: Clasificación del estiércol aplicado a los sistemas de biogás

14.1. Volumen líquido

Para que la carga diaria de entrada pueda ser digerida por las bacterias, es necesario que esté en el interior del digestor tanto tiempo como el tiempo de retención estimado (según la temperatura del lugar). Ya que, el volumen líquido será el resultado de multiplicar el tiempo de retención por la carga diaria. De esta manera, si imaginamos el digestor vacío inicialmente y comenzamos a cargarlo de forma diaria, tardará tantos días como tiempo de retención se hayan considerado en llenarse. Y así, “tiempo de retención +1 día”, al cargar el digestor, se desbordará expulsando la carga del primer día ya digerida. El volumen líquido de un digestor será el resultado de multiplicar la mezcla diaria de carga por el tiempo de retención (Apaza et al 2005).

14.2. Volumen gaseoso

Dentro del digestor, por estar en una situación anaerobia (en ausencia de oxígeno) se va a producir biogás, y éste se acumulará en la parte superior. Se formará una

campana de biogás que sirve para almacenar gas y darle forma al digestor. El volumen gaseoso equivale a un tercio del volumen líquido (Kellner et al 2007).

15 PROBLEMAS DE TOXICIDAD

Los compuestos tóxicos, aún en concentraciones bajas, influyen negativamente en el proceso de digestión al disminuir la velocidad del metabolismo de la micro flora. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque en general todos los grupos de microorganismos que participan en el proceso son afectados. Debido a su lento crecimiento, la inhibición de las metanobacterias puede llevar a un fallo completo en el proceso en sistemas mixtos, debido a un desbalance en la población bacteriana (Gleixner, 2007).

En el caso del nitrógeno, es muy importante mantener un nivel óptimo en su concentración para que el digestor opere satisfactoriamente. Un desbalance consistente en un contenido alto de nitrógeno y una baja disponibilidad de energía causa una toxicidad por una indebida generación de amoníaco. Usualmente, los niveles de amoníaco deben mantenerse por debajo de 80 ppm, pero a concentraciones excesivamente altas, como entre 1500 y 3000 ppm, el amonio aún puede tolerarse en el medio. También se ha informado que los primeros síntomas de inhibición en el proceso se han detectado con concentraciones de amoníaco de 8000 ppm. Deben tomarse precauciones para evitar la entrada en el digestor de ciertos iones metálicos, sales, sustancias bactericidas o sintéticas (Antoni, 2007).

16 ESTIMACION DEL BIOGÁS DIARIO PRODUCIDO

16.1. ST: Sólidos totales (Kg/m³)

De forma general, el estiércol fresco tiene entorno a un 17% de sólidos totales. El rango puede variar de 13 a 20 %. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el digestor. Para calcular los sólidos totales que introducimos

diariamente en un digestor, basta con multiplicar la carga de estiércol por 0.17 y se mide en kilogramos (Carmona y Orozco, 2003).

16.2. SV: Sólidos volátiles (Kg/m³ día)

Los sólidos volátiles representan la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa. Su valor corresponde aproximadamente -y de forma general- al 77% del sólido total introducido por día (Carmona et al 2003).

16.3. PB: Producción de biogás (m³/KgSV m³ día)

La producción de biogás diaria depende de la cantidad de sólidos volátiles que haya en la carga de estiércol. Por ello, para conocer la producción de biogás es necesario conocer previamente la cantidad de estiércol que se va a introducir diariamente al biodigestor, se debe determinar la cantidad de sólidos totales que hay en el estiércol (multiplicando Kg de estiércol por 0.17), y a partir de ese resultado, se estima los sólidos volátiles (multiplicando los sólidos totales por 0.77). Conocidos los sólidos volátiles, dependiendo del tipo de estiércol que se esté empleando, la producción de biogás será mayor o menor (Domínguez Y Ly, 2005).

Ganado	Factor de producción	Factor general
Cerdo	0.25-0.50	0.39
Bovino	0.25-0.30	0.27

Cuadro 7: Animales con mayor producción de biogás

16.4 Ejemplo de estimación de producción de biogás

En el primer ejemplo de diseño de un digestor, se tenía una carga diaria de estiércol de 32.5 kg, y el volumen líquido del biodigestor era 5.850 m³.

Para estimar el biogás producido es necesario partir de la carga de estiércol, que en este caso es de 32.5 kg.

Los sólidos totales, por tanto, serán:

$$ST = \text{carga diaria} \cdot 0.17 / VL = 0.943 \text{ Kg/m}^3$$

Los sólidos volátiles serán:

$$SV = ST \cdot 0.77 = 0.726 \text{ kg/m}^3/\text{día}$$

La producción de biogás será:

$$PB = 0.27 \cdot SV = 0.196 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/\text{m}^3_{\text{VL}}/\text{día}$$

Que para un digester con un VL de 5.850 m³ significa que cada día se va a producir 1.148 m³ o 1.148 litros de biogás (PB·VL=1.148 m³).

17 COMPONENTES DEL SISTEMA:

La selección de los materiales de construcción tiene una gran importancia y por lo tanto deben satisfacer los siguientes requerimientos (Gleixner 2007):

- Resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico.
- Resistencia al ataque químico.
- Posibilidad de ser moldeado y/o construido localmente.
- Disponibilidad local.
- Compatibilidad ambiental.

Las características físicas de los materiales son fácilmente calculables no así los aspectos de disponibilidad y de posibilidad de operar con ellos pues varía según el país o región. Por este motivo se deberá realizar un análisis particular para cada caso antes de tomar una determinación definitiva (Gleixner 2007).

18 CÁMARA DE DIGESTIÓN:

No importa cuál sea el sistema a utilizar, la cámara de digestión deberá cumplir los siguientes requisitos:

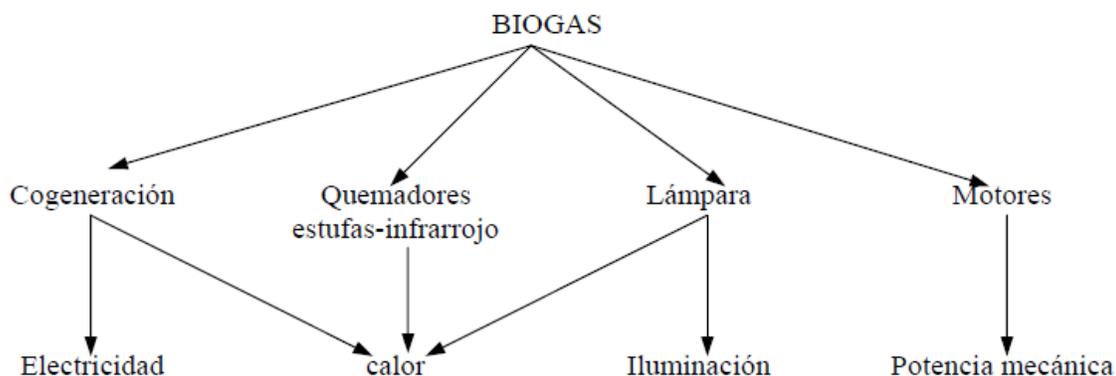
- Impermeable al agua y al gas para evitar las pérdidas del líquido en digestión, con el consecuente peligro de contaminación; y la pérdida de gas que disminuirá la eficiencia y provocaría el riesgo de explosiones en las cercanías del digestor.
- Aislante, las pérdidas de calor deben ser evitadas al máximo, puesto que el mantenimiento de la temperatura de digestión es logrado con el aporte de calor externo y por lo tanto todo ahorro en este sentido redundará en una mayor cantidad de energía neta disponible. Este aspecto es particularmente importante para los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas.
- Mínima relación superficie/volumen, a fin de ahorrar material y mano de obra, como así también reducir la superficie de intercambio de calor.
- Estabilidad estructural, capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas; incluyendo un cuidadoso estudio del suelo, especialmente en los que serán construidos bajo tierra, donde se pueda afectar alguna napa freática (Bidlingmaler 2006).

19 ALMACENAMIENTO DEL BIOGÁS

La producción de gas de un digestor anaeróbico es continua a lo largo de las 24 horas del día; no ocurre lo mismo con el consumo que por lo general está concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consuma. La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido. Por lo tanto cuanto más concentrado esté el consumo en un período de tiempo corto, mayor será la necesidad de almacenaje. Por lo general el volumen de almacenamiento no baja del 50% de la producción diaria. El contenido de energía de 1 m³ de biogás (60% CH₄ y 40% CO₂) es aproximadamente 6 kWh/m³. Esta energía puede ser almacenada en diferentes formas (gas a baja presión, media o alta), agua caliente o energía eléctrica (Carmona y Orozco, 2003).

20 USO

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural, en el esquema se resume las posibles aplicaciones (Abelson et al 1999).



El balance económico indicará si conviene quemarlo, hacer marchar un motor o no generarlo.

Alimentación a	Consumo Kcal/h.	1m ³ de biogás puede alimentar un mínimo de
Cocina de 1 hornalla	660 a 742.5	7.4 h
Heladera de 13 pies	550 a 600	8.3 h
Lámpara	478 a 528	10.4 h
Termotanque de 110lt	1.375 a 1.650	3.3 h
Estufa infrarroja de 600 cal	3.355 a 3.487	1.57 h
Motor (por hp/hora)	2.750 a 4.400	1.25 h
Generador de electricidad 6.4 Kw/hora	5.500	1 h

Cuadro 8: Uso del biogás consumo y tiempo.

El biogás puede representar la alternativa más viable en la mayoría de los casos.

Combustible	Unidad	Poder calorífico	utilización	Rendimiento	Poder calorífico aprov.	Equiva. En biogás	1 m3 biogás
		Kwh/u		%	Kwh/u	M3/u	u/m3
Madera	Kg	2.5	Cocinar	12	0.3	0.09	11.11
Carbón	Kg	5	Cocinar	12	0.6	0.18	5.56
Butano	Kg	13.6	Cocinar	60	8.16	2.49	0.4
Propano	Kg	13.9	Cocinar	50	8.34	2.54	0.39
Diesel	Kg	12	Cocinar	50	6	1.83	0.55
			Motor	30	4	2.8	0.36
Corriente eléctrica	kWh	1	Cocinar	67	0.67	0.2	5
			Luz	9	0.09	0.5	2
			Motor	80	0.8	0.56	1.79
Biogás	m3	5.96	Cocinar	55	3.28	1	1
			Luz	3	0.18	1	1
			Motor	24	1.43	1	1

Cuadro 9: Biogás en comparación con otros combustibles

21 BENEFICIOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGÁS.

Las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biogás son:

- Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica o sistemas de gas convencionales.
- Reducción de olores: los sistemas de biogás reducen los olores ofensivos especialmente en aquellas zonas donde se producen y manejan grandes cantidades de estiércol debido a la explotación de ganado. Los sistemas de biogás reducen estos olores debido a que los ácidos orgánicos volátiles que

causan los compuestos generadores de olor son consumidos por las bacterias productoras de ganado.

- Fertilizante de alta calidad. En el proceso de digestión anaerobia, el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran proporción a amoníaco, el constituyente básico de fertilizante comercial, que es fácilmente disponible y utilizado por las plantas.
- Reducción de de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. El efluente del digestor es un producto más uniforme y manejable que el estiércol no tratado. La alta cantidad de amoníaco permite una mejor utilización de los cultivos y permite mejorar las propiedades físicas de los suelos. Una aplicación apropiada del efluente del digestor reduce la contaminación de aguas superficiales o subterráneas.
- Reducción de patógenos El calentamiento que ocurre en los digestores reduce las poblaciones de patógenos rápidamente en pocos días (Zapata 2003).

22 BIBLIOGRAFÍA

- Abelson P., J. Frank, Smith W.H.; 1999; Elsevier Applied Science, London, pp. 291-334.
- Achebe C., H. Chinwuko, S. C. Nwigbo., , E.C, M.O .Odhomi, Tagbo, D.A., 2008; Energy Losses through Unharnessed Biomass in South-Eastern Region of Nigeria; An International Multi-Disciplinary Journal vol. 2 (pp21-34).
- Acosta, E. Antúnez, D. Cisneros, T. Díaz, B. García, J. Ly., Z. Reyes, M. de J.; 2007; BIODIGESTORES EN EL TRATAMIENTO DE EXCRETAS PORCINAS; boletín técnico porcino, numero 5.
- Aguilar F. X. y R. Botero-botero; 2000; estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un Biodigestor de polietileno de bajo costo.
- Akuzuo U., I. Joseph, Ibeto, N. Cynthia, Nwankwo, Ofoefule ; 2010 Biogas Production from Paper Waste and its blend with Cow dung; Advances in Applied Science Research, vol. 1 (2): pp: 1-8
- Alcayaga S., J. Glaría, L. Guerrero; 1999; Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandido.
- Antoni D., V. Zverlov, V. Schwarz, W.H.; 2007; Biofuels from microbes. Appl Microbiol Biotechnol. 77, pp. 23–35.
- Anuj L., C. Cárdenas-Lailhacar, M.Sc. y Ph.D.; 2010; A Biogas Decision Support System Tool; Dept. Industrial & Systems Engineering, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Apaza V., A. Canahua, T. Colque, S.E. Jacobsen, A. Mujica, D. Rodríguez; 2005; PRODUCCIÓN DE BIOL ABONO LÍQUIDO NATURAL Y ECOLOGICO; Perú.

–Arayici S.; G. Anderson B. Kasapgil, O. Ince, 2001; Assessment of biogas use as an energy source from anaerobic digestion of brewery wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution* 126, 239–251.

-Ashekuzzaman S. M, A.B.M. Badruzzaman, A.T.M. Rafiqul, R. Hoque, Souman; 2010; Supplementing energy demand of rural households in Bangladesh through appropriate biogas technology; *Proc. of International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh*.

-.Atakora S.B., R. Atta-Konadu, A. Brew-Hammond, I. Edjekumhene; 2001; Implementation of renewable energy technologies: opportunities and barriers. Ghana country study, UNEP collaborating centre on energy and environment, Denmark.

-Bidlingmaier W.; 2006; Fifth ORBIT Conference Probes Anaerobic Digestion. *BioCycle Journal of Composting and Organics Recycling*. 47(9), pp. 42-49.

–Bordeaux I., M. Soto, A. Shiralipour, Smith PH, A. Wilkie, J. Andrews, S. Ide, M. Barnett; 2005; Biological production of methane from biomass. En: *Methane From Biomass: A Systems Approach*.

–Botero R., E.D. Díaz, J.C. Kreling, J.V. Murillo; 2007; Evaluación de la productividad y del efluente de Biodigestores suplementados con grasas residuales. *Tierra Tropical* 3(2), pp.149-160.

-Botero R., J.E. Coto, J.J Maldonado, J.V. Murillo; 2007; IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA GENERAR ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS EN LA FINCA PECUARIA INTEGRADA DE EARTH; Costa Rica.; *Rev. Tierra Tropical*; 3 (2): 129-138.

– Böttinger, C.M Martínez, N. Kanswohl, S. Schlegel, H. Oechsner; 2008; Instalaciones de biogás a mediana y gran escala en Alemania.

-Carmona Blanco F. A. y J.E. Orozco Ruiz; 2003; Utilización de biogas como combustible para el funcionamiento de motores de combustión interna; Costa Rica.

-Carmona J.C., D.M. Bolívar, L.A. Giraldo; 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo (en línea). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 18(1): 49-63.

-Camargo Y. y A. Vélez.; 2007; emisiones de biogás producida en rellenos sanitarios; Colombia.

-Campos E., M. Dalmau, M.T. Garcia, P. Illa´ n, J. Sánchez-Leal; 2006; Inhibition of biogas production by alkyl benzene sulfonates (LAS) in a screening test for anaerobic biodegradability. Biodegradation. 17, pp. 39–46.

-Carrillo L.; 2003. Microbiología Agrícola.

-Chara J. y G. Pedraza; 2002. Biodigestores plásticos de flujo continuo. Investigación y transferencia en países tropicales. Fundación CIPAV (Centre for Research on Sustainable Agricultural Production Systems). Cali, CO. 278 p.

-Cheon J., T. Hidaka, F. Hong, H. Tsuno, Y. Park; 2008; Comparison of thermophilic anaerobic digestion characteristics between single-phase and two-phase systems for kitchen garbage treatment. Journal of Bioscience and Bioengineering. 105 (1), pp. 48-54.

–Chínese A. y A. Van Buren; 1999; Biogas Manual. Intermediate Technology Publications, London.

-Chiranjivi C.; 2000; Design analysis of small-scale anaerobic digesters in India. En: Energy from Biomass and Wastes. White & Me Grew, editores. IGT, Chicago, pp. 449-464.

-Ciro H., H González, J. Osorio; 2007; Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 60 (2).

-Dahlman J. y C. Forst; 2001; Technologies Demonstrated at echo: floating drum biogas digester.

-Decora L., C. Funes, G. Sandoval; 2004; EL USO DE BIODIGESTORES EN SISTEMAS CAPRINOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA; UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO.(CORDOBA); agosto.

-Díaz da Silva E., T. Nogueira Da Silva; 2007 determinación de la proporción de aceite residual de cocina que produce mayor volumen de Biogás al adicionarlo a los Biodigestores de la universidad de Earth.

-Domínguez P. L. y J. Ly; 2005; Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados.

-García Orestes H. y L. López González; 2003; Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y Biofertilizante de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios.

-Gleixner A.; 2007; Fermentation of Distiller's Wash in a Biogas Plant. Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry. Springer, pp. 99-108.

-Gómez, J.E.; 2000; Proteger los acuíferos con lodos de depuradora; biogás como método de autoabastecimiento de energía; granada España.

- Hernández Cantero R., J.L Magaña R, M.T. Martínez G., E. Torres R., C. Sandoval Juárez,; 2006 Producción de biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabras, Acta Universitaria Vol. 16 Nº 02, pp. 27-37.

-Hoerz T., P. Krämer, B. Klingler, C. Kellner, T. Wittur, F. v. Klopotek, A. Krieg, H. Euler; 2001; Biogas digest; volume 1.

-Kapdi S.S., V.K Vijay, S.K. Rajesh, R. Prasad; 2004; Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. Renewable Energy 20, pp. 1-8.

- Kellner C., F. Marree, M. Nijboer; 2007; Report on the feasibility study for a biogas support programme in the northern zones of Tanzania. SNV publication. Nairobi, Kenya.
- Kon, J., B. Rock, Y. Nam, S. Wouk; 2006; Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. Journal of Bioscience and Bioengineering. 102 (4), pp. 328-332.
- López Pérez A.C.; 2007; VALORIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE CERDO A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
- Martí Herrero J.; 2008; Biodigestores familiares guía diseño y manual de instalación; Bolivia.
- Miah M., C. Tada, Y. Yang, S. Sawayama; 2005; Aerobic thermophilic bacteria enhance biogas production. J Mater Cycles Waste Manag. 7:48-54.
- Moncayo G. y M. Rivera Torres; 2003; EL tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos en digestores biológicos anaeróbicos y producción de biogás.
- Ramírez Rodríguez L. D.; 2007; Generación de electricidad por medio del biogás; universidad de costa rica facultad de ingeniería.
- Rivas Solano O., M. Faith Vargas, R. Guillén Watson.; 2010; Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad Tecnología en Marcha, Vol. 23, N.º 1, Enero-Marzo, pp. 39-46.
- Sáenz J.A.; 2001 BIODIGESTORES: APORTES A LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN CAMPESINA.
- Sogari, N.; 2003. Cálculo de la producción de metano generado por distintos restos orgánicos. Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen T-027.

-Sundar R., S. Arul, S. Sendilvelan y C.G. Saravanan; 2009 Bio Gas from Textile Cotton Waste - An Alternate Fuel for Diesel Engines; The Open Waste Management Journal, vo. 2; pp: 1-5.

-Weiland P. (2000). Anaerobic waste digestion in Germany – Status and recent developments. Biodegradation 11, pp. 415-421.

-Zapata Cavidad A., 2003; Utilización del biogás para generación de electricidad.