

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD DE UN BIODIGESTOR EN UN
ESTABLO LECHERO DE UNA COMUNIDAD RURAL**

TESIS

QUE PRESENTA

NORMA TAPIA MARIN

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD DE UN BIODIGESTOR EN UN
ESTABLO LECHERO DE UNA COMUNIDAD RURAL

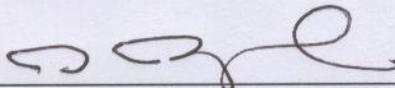
PRESENTADA POR

NORMA TAPIA MARIN

TESIS, QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

ASESOR PRINCIPAL



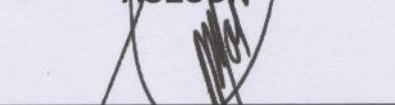
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

ASESOR



ING. HUMBERTO CAMPILLO RONQUILLO

ASESOR



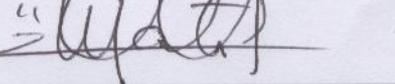
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL



ING. JOEL LIMONES AVITIA

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

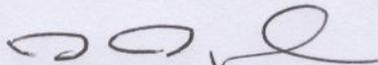
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**TESIS QUE PRESENTA LA C. NORMA TAPIA MARIN Y QUE SE SOMETE A
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO



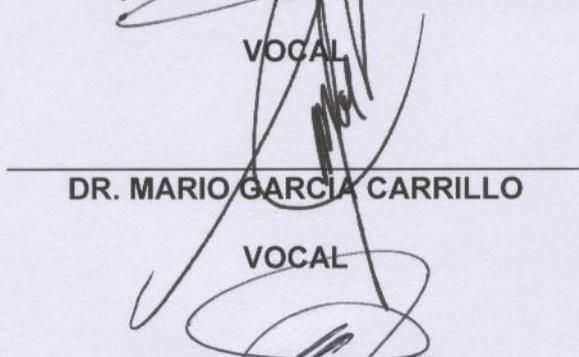
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

VOCAL



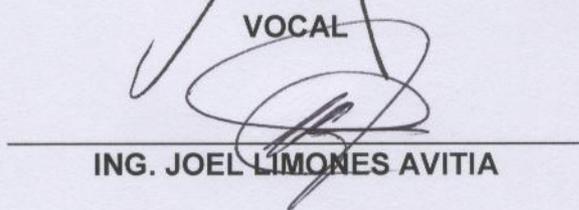
ING. HUMBERTO CAMPILLO RONQUILLO

VOCAL



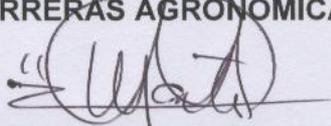
DR. MARIO GARCIA CARRILLO

VOCAL



ING. JOEL LIMONES AVITIA

**EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me ha permitido cumplir mis sueños y metas, que me ha permitido llegar hasta aquí con una vida plena.

Agradezco infinitamente a mis padres que me han apoyado incondicionalmente en todo momento, por su cariño y comprensión y que han sido el pilar de mi vida, así como a mis hermanos por su comprensión y cariño, les agradezco de todo corazón.

GRACIAS

¡¡¡Que Dios los Bendiga!!!

A todos las personas que colaboraron conmigo durante la realización de mi tesis. Mil Gracias.

DEDICATORIA

A mis padres que les dedico todo lo bueno que he logrado.

Sra. Berta Marín Morales

Sr. Benjamín Tapia Pérez

A mis hermanos

Eliseo, Jairo, Sara, Cesar, Rubén, y Marisela.

A una persona muy importante en mi vida

Jorge Guillermo Nieto Dickens

A todos mis amigos y amigas

Lesli, Nalle, Lupis, Gabi, Martín, José Miguel, etc.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
INDICE DE CONTENIDOS	III
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE CUADROS	V
INDICE DE ANEXOS	VI
RESUMEN	VII
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- OBJETIVO	3
III.- LITERATURA REVISADA	4
3.1. Bioenergía en México	4
3.2. Importancia de los biocombustibles	4
3.3. Posición de México para producir biocombustibles	5
3.4. Suministro de energía en el mundo	6
3.5. Soluciones económicas y ambientales	7
3.6. Problemática ambiental generada	11
3.7. Explotaciones lecheras y medio ambiente	13
3.8. ER (energía renovable) al nuevo mercado	14
3.9. Normas aplicables de las ER (energía renovable)	16
3.10. Ventajas de las ER	17
3.11. Desventajas de las ER	17
3.12. Antecedentes de la ER (biogás) en el mundo	18
3.13. Barreras de desarrollo de las ER en México	20
3.14. Que es bioenergía	21
3.15. Que es biogás	21
3.16. Que es un biodigestor	24
3.17. Proceso de biodigestión	24
3.18. Calidad de los residuos	29
3.19. Tipos de biodigestores	29

3.20. Efecto del subproducto sobre el suelo	31
3.21. Factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia	32
3.22. Importancia del metano	33
3.23. Tipos de biomasa	35
3.24. Comercio por bonos de carbono	35
IV.- MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1. Estudio del establo	37
4.2. Historial del establo	37
4.3. Materia prima	38
4.4. Arquitectura del biodigestor	38
4.5. Variables del análisis de sustentabilidad	39
4.5.1. Consumo de energía eléctrica	39
4.5.2. Volumen del biodigestor	39
4.5.2.a. Volumen de la biomasa	39
4.5.2.b. Volumen del biogás	40
4.5.2.c. Volumen del biodigestor	40
4.5.3. Capacidad de energía generada	40
4.5.4. Inversión del biodigestor	41
4.5.5. Estudio económico del Ejido Batopilas	41
4.5.6. Otras variantes	41
4.6. Proceso de la materia orgánica	41
V.- RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
5.1.- Consumo de energía en el establo	43
5.2.- Gasto de luz	44
5.3.- Cálculo del volumen del biodigestor	44
5.3.1.- Volumen de biomasa	44
5.3.2.- Volumen de biogás	47
5.3.3.- Volumen total del biodigestor	47
5.4.- Capacidad de energía generada	48

5.5.- Inversión del biodigestor	48
5.6.- Estudio económico del Ejido Batopilas	48
5.7.- Vida útil	49
5.8.- Ingreso económico al establo	49
5.9. Comp. de gastos de luz antes y después del biodigestor	49
5.10.- Finanzas de los Bonos de carbono	50
5.11.- Ahorro de agua	50
5.12.- Fertilizante	50
5.13.- Ahorro financiero extra	50
5.14.- Ahorro total	51

VI. CONCLUSIONES	52
-------------------------	----

VII. RECOMENDACIONES	53
-----------------------------	----

VIII. BIBLIOGRAFIA	54
---------------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Cambio climático	13
Fig. 2. Digestión anaerobia	25
Fig. 3. Formación de biogás durante el proceso anaerobio	27
Fig. 4. Proceso de la materia orgánica	41
Fig. 5. Proyección de vida útil	49

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Generación y secuestro de gases de efecto invernadero	35
Cuadro 2. Valorización de los desechos orgánicos	36
Cuadro 3. Variantes evaluadas del ejido “Batopilas”	43
Cuadro 4. Consumo de energía del establo	44
Cuadro 5. Gastos de luz	44
Cuadro 6. Volumen de la biomasa	45
Cuadro 7. Generación total de estiércol	45
Cuadro 8. Cantidad de estiércol por hato	46

Cuadro 9. Factores para calcular volumen	46
Cuadro 10. Volumen de biogás	47
Cuadro 11. Estudio económico	48
Cuadro 12. Ingreso económico al establo	49
Cuadro 13. ahorro neto de luz	49
Cuadro 14. Finanzas de los bonos de carbono	50
Cuadro 15. Ahorro financiero absoluto	51

INDICE DE ANEXOS

Glosario	66
Abreviaturas	68
Fotografías	69

RESÚMEN

La comarca lagunera es la cuenca lechera con más cabezas de ganado bovino en el país, sin embargo, también es una de las regiones con mas excretas de bovino generadas. Este desecho orgánico agroindustrial pasa a ser un alto potencial de recurso desaprovechado, es necesaria la búsqueda de alternativas de gestión para estos residuos agroindustriales que permitan evacuarlos favorablemente y obtener de ellos alguna utilidad, aun cuando su recolección y tratamiento de estos implique por un lado altos costos al ubicarlos en un lugar que no genere problemas para la población, tales como enfermedades, malos olores, contaminación de acuíferos, deterioro de paisaje, por otra parte la mala ubicación de los mismos puede generar costos por el tratamiento de enfermedades y recuperación de daños ambientales. Es mejor apostar por producir un producto para satisfacer de forma competitiva una demanda contando con los medios, recursos humanos y tecnologías; es decir, usar esa energía renovable (excretas de bovino) convertirla en energía eléctrica y sustentar todas las demandas energéticas y demás que surjan en el establo “Batopilas” a partir de un biodigestor, que consiste en almacenar el residuo agroindustrial en una fosa durante 35 días aproximadamente y al término de este periodo se recupera el biogás generado en el biodigestor el cual se filtra para obtener metano y ser enviado a pistones que generan la energía eléctrica. Así como preservar el medio ambiente convirtiendo las explotaciones lecheras en establos ecológicos sustentables por medio de un análisis de sustentabilidad.

Palabras Clave: Biodigestión, metano, energía eléctrica en México, Bioenergía

I. INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es la cuenca con mas de 400,000 cabezas de ganado bovino, Sin embargo, también es una de las regiones con más estiércol de ganado bovino producido el cual rebasa el millón de kilogramos por día. La Comarca lagunera es la cuenca lechera más importante del país, con más de 2'000,000 de litros diarios de leche dado sus 200,000 cabezas de ganado bovino en producción aproximadamente. Sin embargo para tener ese número de cabezas de ganado bovino se requiere tener ganado de reemplazo y en desarrollo por lo que en total se tiene más de 400,000 cabezas con el principal objetivo de producir leche en la región. Lo anterior deriva en mas de 10'000 ton de estiércol base seca, producido por día, por lo que este tiene que ser tratado y dosificado adecuadamente para evitar posible contaminación del suelo y el agua del acuífero subterráneo conduce a exceso de nutrientes, toxicidad al cultivo y contaminación del suelo y el agua. Un manejo inadecuado de este importante residuo puede conducir a problemas ambientales, como es el caso de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos declarará el estiércol como desecho tóxico debido a que se ha manejado en forma incorrecta con riesgos de contaminación por nitratos al acuífero (Salazar *et al.*, 2002). La Comarca Lagunera es una región donde existe una gran actividad pecuaria, cada año se producen 7, 200,000 ton de estiércol; esto plantea la posibilidad de su utilización en la agricultura (Dimas *et al.*, 2002).

La Comarca Lagunera es una de las regiones agrícolas y ganaderas más importantes de la República Mexicana, y al mismo tiempo es una de las zonas agrícolas más contaminadas, debido al uso irracional de productos químicos en la agricultura, lo que hace a sus terrenos agrícolas intensamente explotados además de su empobrecimiento físico, químico y biológico, presenten índices elevados de residuos tóxicos (Ramón, 2006). La salud de los laguneros se ve afectada por los altos índices de contaminación. Los especialistas señalan que el crecimiento económico de la región y la falta de un proyecto de desarrollo sostenible se conjugan para que día con día la calidad del aire y del agua vayan en detrimento, esto

perjudica directamente a la población que está expuesta a los contaminantes que afectan al medio ambiente. Los problemas de contaminación sí se están reflejando en la salud de la población, hay más contaminación y se presenta más cáncer. También se está reflejando en los problemas de tipo asmático. Los problemas de contaminación surgen por el desarrollo insostenible, no hay planeación y en muchos de los procesos industriales, no se piensa en los efectos colaterales, la producción industrial genera desperdicios que son contaminantes o sustancias peligrosas que pueden ser cancerígenas (Ibarra 2007).

Las excretas contienen nutrimentos que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. Una forma de hacerlo es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrimentos contenidos en las excretas y, además, se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, etc. en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (Soria *et al.*, 2001; Luévano y Velázquez, 2001).

Hacer compatible el desarrollo y la conservación es el gran reto si pensamos en un desarrollo sustentable, no agresivo, que logre aumentar la calidad de vida de los habitantes de las zonas a conservar sin aumentar el impacto en el ecosistema, si no consideramos aumentos importantes de población y nos proponemos corregir energéticamente los problemas ambientales para mejorar el bienestar de los habitantes, será fácil conseguir la compatibilidad. Una gestión adecuada de los recursos naturales es la base del desarrollo sostenible (Barbero, 2004).

El mundo no siempre dependió del petróleo. Una economía tradicional basada en procesos biológicos suministraba y continúa suministrándonos alimentos, forraje, fibras y madera. Antes de los 20s, muchos de nuestros productos industriales eran

también bioproductos, como combustibles, químicos y materiales derivados de biomasa, principalmente madera y algunos cultivos agrícolas. Un petróleo barato y abundante cambió todo eso. Sin embargo, los avances en tecnología y en biotecnología en particular, hacen económicamente viable y ambientalmente atractivo “regresar al futuro” y empezar suplementando y eventualmente reemplazar petróleo por biomasa, un material renovable derivado de plantas.” Los biocombustibles requieren capturar valor de co-productos para dar utilidades” (Jaworski, 2007). Dado que los productos y energía procedentes del petróleo y gas natural se han vuelto más caros y la oferta menos segura. Una preocupación creciente por el cambio climático ha propiciado mayor atención en la sustentabilidad ambiental y el manejo del ciclo del carbono. Las ciencias biológicas son ahora más aptas para crear nuevos productos (Duncan, 2006). El sector energía es un soporte fundamental de la economía nacional y motor del crecimiento económico, el desarrollo y el bienestar social. Actualmente, participa con el 11% del PIB, representa el 12% de las exportaciones y un tercio de la recaudación fiscal nacional (SENER, 2006).

Metas ambiciosas en términos numéricos para biocombustibles o bio-productos pueden forzar la tecnología. Los problemas de emisión de Carbono se aceptan como reales por el sector privado multinacional y se imponen disciplinas económicas en el mercado (Brenner, 2007).

II. OBJETIVO

El objetivo del presente análisis es proyectar la sustentabilidad de un biodigestor en un establo lechero de una comunidad rural colectiva de la Comarca Lagunera.

III. LITERATURA REVISADA

3.1. La bioenergía en México

El alto potencial del recurso desaprovechado es una posible solución a problemas sanitarios por disposición de residuos orgánicos agroindustriales, Su uso es altamente viable para la mitigación del cambio climático (De Los Ríos, 2006)

Si es posible producir un producto, para satisfacer de forma competitiva una demanda contando con los medios, recursos humanos y la tecnología adecuada. Una tecnología es apropiada cuando logra imponerse. La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, es una tecnología de avanzada. Una planta de biogás suministra energía y abono, mejora las condiciones higiénicas y no daña el medio ambiente, es una fuente de energía moderna que en el caso de las viviendas rurales, puede ser montada en el lugar donde se consumirá la energía, evitando los extensos y caros tendidos eléctricos rurales, es renovable y con un mínimo mantenimiento. No se necesita un alto grado de capacitación para operarla. Pero todo lo antes citado es posible solamente si está bien construida (Álvarez *et al.*, 2005), Las emisiones del metano ocurren cuando el estiércol se descompone por un proceso anaerobio bajo condiciones ambientales (Humenik, 2006).

La repercusión medioambiental de las explotaciones lecheras depende así mismo de los avances tecnológicos, tipos de instalación o construcción, almacenamiento del estiércol, sistemas de tratamiento (fangales) y equipos de producción de energía alternativa, así como prácticas de gestión, nuevas fórmulas en las mezclas de la alimentación animal y nuevas técnicas para distribuir el estiércol (OECD, 2004).

3.2. Importancia de los biocombustibles

Se busca una ganancia ambiental en cuanto al secuestro de carbono, y como resultado menores niveles de emisión. Es una tecnología renovable dado que su ciclo de producción es corto, además el proceso es controlable. En cuanto a los

aspectos económicos es un componente nuevo de demanda, con impactos en la balanza de pagos. Una cuestión muy importante es el aspecto social a la cual se le atribuye la creación de empleos y desconcentración de ingreso (De los Ríos, 2006).

Se busca que la bioenergía sea competitiva con otras alternativas como solar, eólica, de olas, nuclear, de secuestro de carbono, de conservación, etc. Producirá cada vez más beneficios ambientales, económicos y sociales que nos beneficiarán a todos (Arundel, 2006; Poletti y Martino, 2007).

Los principales contaminantes aéreos creados a partir de la combustión de combustibles fósiles son bióxido de carbono y sus derivados. El crecimiento y demanda del consumo de energía en los países en vías de desarrollo será inevitable por tanto habrá emisiones mas elevadas (Toepfer *et al.*, 2000).

3.3. Posición de México para producir biocombustibles

Los Biocombustibles son un camino real y reconocido para reducir contaminación si se usan bien, México puede apalancar su vasto potencial de mercado y producción agrícola y crear una industria fuerte de bioenergéticos a través de políticas de apoyo (McDonnell, 2006)

El actual incremento de residuos en el mundo, genera un impacto ambiental desfavorable por lo que es necesaria la búsqueda de alternativas de gestión para los residuos sólidos que permitan evacuarlos favorablemente y obtener de estos alguna utilidad (Posso, 2002).

Existen en la comarca lagunera 415 mil cabezas de bovinos, de los cuales 240 mil están en producción aproximadamente, por tanto la producción de estiércol es elevada (López y Avalos, 2004).

El tratamiento depende del tipo de residuos de que se trate. El biogás puede provenir de desechos domésticos o residuos agrícolas, como el abono líquido y los residuos

de las cosechas. El biogás puede tratarse en pequeñas unidades individuales de biogás del tamaño de una explotación agraria o en unidades colectivas y centralizadas. Estas unidades, son capaces de tratar a la vez diferentes tipos de residuos, principalmente abono y abono líquido mezclado con otros residuos orgánicos. Las centrales de biogás constituyen un medio eficiente de tratar los residuos biológicos de la agricultura y de la industria, y su tamaño permite aprovechar el contenido energético de los residuos. Esta tecnología presenta un potencial considerable de crecimiento. Además para la producción de calor y electricidad, el biogás puede utilizarse también como combustible para los transportes (Comisión de las Comunidades Europeas, 2007).

El biogás que es producido a partir de fermentación anaerobia de la materia orgánica se ha convertido en los últimos años en una de las alternativas mas atractivas, pues sin lugar a dudas las energías renovables constituirán la mayor parte de la energía del futuro en el planeta y en nuestro país las actividades ganaderas son precursoras de la producción de biomasa para la generación de energía eléctrica (Durant, 1999).

3.4. Suministros de energía en el mundo

No podemos seguir mucho tiempo desperdiciando la energía depositada por el sol tanto tiempo atrás. Lo que sacamos no es reemplazado y un día se acabará. Los expertos pronostican que dentro de unos pocos decenios tal vez hasta dentro de unos pocos años la producción de petróleo alcanzará su punto máximo y el uso en expansión empezará a entrar en decadencia. En ese punto, sus suministros en constante aumento y generalmente baratos se convertirán en suministros cada vez más reducidos, y su precio subirá cada vez más. Si el mundo no está bien preparado, las economías caerán en picada y los conflictos aumentarán mientras las naciones se pelean por lo que queda. Para peor, este despilfarro sólo beneficia a una minoría. Aproximadamente una quinta parte de los habitantes del mundo se han enriquecido tanto en naciones industrializadas como en países en desarrollo gastando el combustible fósil de la Tierra (Falt, 2004); la energía se une estrechamente al desarrollo económico y a la calidad medioambiental, es central a la

economía mundial, proporcionando el poder necesario para la producción industrial, el transporte, y cada vez más la agricultura (Toepfer *et al.*, 2000).

Al iniciar el siglo XXI, la presencia de dos fenómenos, uno de carácter ambiental y otro de carácter energético y con complicaciones económicas han puesto en riesgo la actividad humana y ha aumentado su vulnerabilidad. La situación tiende a agravarse, ya que se prevé que el máximo punto de producción mundial del petróleo se presente alrededor del 2030, generando problemas de desequilibrio entre la oferta y la demanda del crudo, y por ende desestabilización geopolítica. Los efectos de cambio climático y las necesidades de abastecimiento de energía están implicando necesariamente un proceso de transición hacia fuentes de energía alternas, dado que las existentes de los energéticos fósiles presentan un agotamiento progresivo y mientras se continúen utilizando se seguirán efectuando gases de efecto invernadero (GEI) (SAGARPA, 2007). El primer hecho real que se debe manejar es que la situación internacional en cuanto a abastecimiento de hidrocarburos está llegando a un punto que se tornará crítico en los próximos años. Ya en la década de los 70 existieron predicciones que preveían que la producción mundial de petróleo iba a comenzar a declinar hacia 1985-1990. En el caso del gas natural, que es central para la generación eléctrica, también se han producido fuertes alzas en los últimos meses (Ramírez, 2004).

3.5. Soluciones económicas y ambientales

La recolección y tratamiento de los desechos implica, por un lado, altos costos al ubicarlos en un lugar que no genere problemas a la población, tales como enfermedades, malos olores, contaminación de acuíferos, deterioro del paisaje, etc. Por otra parte, la mala ubicación de los mismos puede generar también costos por el tratamiento de enfermedades y recuperación de daños ambientales (Vargas y Otoyá, 2003; Sahlström, 2006).

Cuando las soluciones económicas de un establecimiento, granja, industria, etc. no están disponibles, el efluente, normalmente se descarga en los ríos o en la tierra, causando un impacto medioambiental serio (Barana y Ribas, 2003). La contaminación implica

no solo deterioro ambiental sino también fuga de nutrientes y energía, que significa un desaprovechamiento de recursos naturales. Las aguas residuales generadas en establos lecheros son difíciles de digerir, en efecto, México carece de tecnologías eficientes para dar un tratamiento y disposición adecuada a este tipo de descargas (Cervantes *et al.*, 2007)

Las heces que producen los bovinos se componen de lo siguiente: 1) Residuos de alimentos no digeridos. 2) Enzimas digestivas. 3) Células eliminadas del tracto intestinal. 4) Residuos de microorganismos no digeridos (bacteria). La cantidad de heces producida cada día puede variar considerablemente según la tasa de ingestión y la composición de la dieta. Las vacas alimentadas con una dieta alta en forraje producen más heces que las vacas alimentadas con concentrados que tienen un alto contenido de granos (Wattiaux, 2002)

Por el momento se está dando más importancia a las producciones que se realizan en confinamiento y emplean el agua para el aseo de sus instalaciones. Tal es el caso del ganado de leche que se confina temporalmente para el ordeño. Con estos puntos en mente se puede determinar que la contaminación aparece como resultado de un proceso ineficiente o incompleto que no utiliza de manera apropiada los recursos que posee o que genera. Un contaminante, desde esta perspectiva, es un recurso en el lugar equivocado (Chará, 2003).

La producción lechera en los países se enfrenta a dificultades políticas desde el punto de vista de la economía y las repercusiones medioambientales y sociales de una agricultura sostenible. Simultáneamente crece la preocupación social por las consecuencias medioambientales de las explotaciones lecheras. En las regiones de gran concentración de producción lechera hay más riesgo de contaminación del agua. (Méndez *et al.*, 2000).

El aumento de la acumulación de residuos orgánicos ganaderos se ha tornado una preocupación no solo por ser un medio de vinculación con los patógenos sino también por el impacto ambiental ocasionado principalmente en la calidad de las

tierras y la percolación desenfrenada de nitratos a los mantos freáticos causando nitrificación. El 62 % de las emisiones de metano a la atmósfera pertenecen a los países que se encuentran en el programa "methane to markets" (Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Colombia, China, Ecuador, Alemania, India, Italia, Japón, Corea, México, Nigeria, Polonia, Rusia, Ucrania, Reino Unido, Estados Unidos, Vietnam) , dentro de la producción animal el 80% son producidas por ganado porcino, ganado lechero y no lechero (Silva *et al.*, 2004 ; Hilbert y Eppel, 2007).

El aprovechamiento de los residuos ganaderos para la producción de energía tiene tres ventajas básicas: recuperación energética inmediata y como consecuencia recuperación económica, depuración ambiental y ecológica, y como subproductos fertilizantes de gran calidad (Contreras *et al.*, 2006).

Los contaminantes ambientales, como metales pesados y productos químicos orgánicos pueden entrar en la industria láctea a través de la cadena de producción de alimentos de animales o bien el consumo directo de los suelos. El alimento de los animales es un factor integral en la producción de leche, que afectan la calidad de la leche producida. La contaminación de alimentos de animales también puede ser consecuencia de la presencia de sustancias tóxicas endógenas o micotoxinas, los productos químicos o el medio ambiente (FSANZ, 2006).

La financiación y eficiencia económica de los proyectos energéticos deben poder generar valor agregado a largo plazo que beneficie por sobre todo a la población de menores recursos, de manera de posibilitar la financiación de modernos sistemas por parte de los usuarios. Además, debe haber mecanismos de financiación sostenibles, tales como créditos con condiciones favorables y oportunidades de economizar, debiendo alivianarse los costos a largo plazo de la inversión para los hogares más pobres (Sommer *et al.*, 2006).

La Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión aprobó recientemente la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.

Esta iniciativa prevé entre otros instrumentos, la creación de un fideicomiso que permitirá que las fuentes de energía renovable, alcancen una participación en la generación de electricidad nacional, esto sin considerar la aportación de las grandes hidroeléctricas. Con esta Ley, México se unirá al grupo de países, que cuentan con políticas públicas para fomentar el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Otra aportación a estos proyectos esta en el Convenio de Donación con el Fondo Mundial del Medio Ambiente a través del Banco Mundial. México está en proceso de mejorar significativamente su marco regulatorio y legal a efecto de impulsar el desarrollo de tecnologías basadas en ER (Energías renovables), y asegurar que éstas obtengan la retribución económica correspondiente (Torres y Gómez, 2006).

La agricultura es la principal fuente de emisión de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), y en menor medida aunque también importante, de bióxido de carbono (CO₂). Las prácticas agrícolas intensivas, como la cría de ganado, el cultivo de arroz, y el uso de fertilizantes emiten más del 50% del metano proveniente de actividades humanas y gran parte del óxido nitroso (García *et al.*, 2006).

Debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan irracionalmente, es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes (Soria *et al.*, 2001).

En la reutilización de los desechos lo importante es reducir la contaminación ambiental y los costos energéticos, humanos y financieros del proceso. Sin embargo, debe tenerse claro que de cualquier otra índole, lo importante es la reducción y el cambio en los patrones de producción y consumo de manera que se logre una plena utilización de los recursos y un menor desperdicio de los mismos (Vargas y Otoyá, 2003). Aunque resulte económicamente rentable la utilización de los desechos sólidos

Algunas opciones para mitigar emisiones de GEI (Gas de Efecto Invernadero) son mejoras en eficiencia energética, cambio en los patrones de uso de energía, manejo forestal adecuado, opciones tecnológicas sin efectos adversos, uso de energía renovable para generar electricidad como combustible (Fernández, 2006).

3.6. Problemática ambiental generada

El método de tratamiento de estiércol más usado en México es el secado al aire libre, para lo cual es depositado en un terreno cercano al establo sin recibir ningún manejo para su composteo (Wattiaux *et al.*, 2000); requiriéndose de 8 a 12 meses o más para que el estiércol se estabilice mediante un proceso mixto aerobio-anaerobio. Este manejo es la principal razón por la que el estiércol bovino causa graves problemas de contaminación ambiental, ya que se genera una gran proliferación de moscas, se producen malos olores y una gran dispersión y suspensión de partículas finas en el aire. Además el Nitrógeno (N) se volatiliza en forma de amoníaco y se lixivia como nitrato a capas profundas del suelo; el potasio (K) también es lixiviado (Capulín *et al.*, 2001; Poletti y Martino, 2007; Sahlström, 2006).

En la comarca lagunera se encuentran una de las cuencas lecheras mas importantes de país, debido a esto se genera una gran cantidad de desechos orgánicos (heces fecales), que actualmente no están siendo utilizadas en algún tratamiento, sino mas bien en algunas partes de la región es una fuente de contaminación ambiental; por lo tanto se tienen suelos pobres debido al represamiento de los ríos, la solución seria utilizar fertilizantes muy caros y que generen efectos secundarios en el medio ambiente, la alternativa mas viable será utilizar fertilizantes orgánicos, para producir forraje que se necesita en la región, por lo tanto se requiere explotar la tierra aun mas y aunada ello la aplicación de grandes cantidades de abonos químicos, pero esto nos trae como consecuencia un deterioro ambiental y la tierra se vuelve pobre (Luévano y Velázquez, 2001)

Las emisiones de azufre, principalmente bióxido de azufre (SO_2), genera muchos de los problemas de polución aéreos locales y regionales más serios alrededor del mundo (Nunnari *et al.*, 2001).

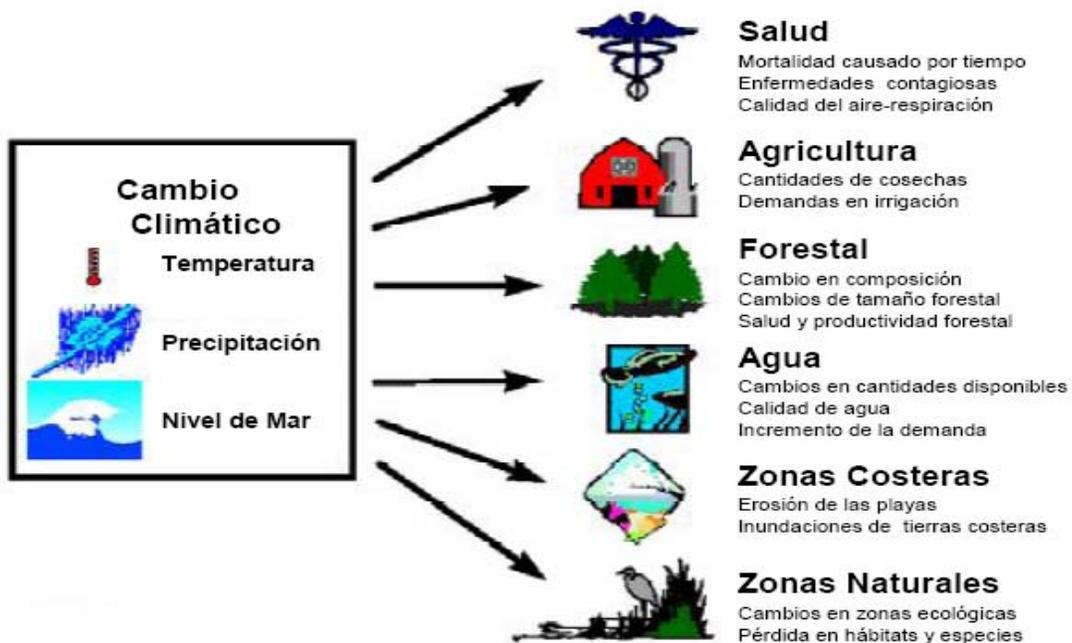
El uso de biogás se pretende que sea sustentable para evitar posibles huecos entre necesidad y necesidad, puesto que otras alternativas no bien planteadas cubren una demanda para abrir una mas grande y con ello la alza de precios en algunos productos (Hart, 2007).

El sistema climático está determinado por un complejo sistema de variables, que se distorsionan debido a la actividad económica humana no sostenible (fundamentalmente por la emisión de combustibles fósiles y otros gases). Esto provoca un calentamiento global en el que están involucrados, y cada vez de forma más grave, procesos de deforestación y desertización, la desaparición de la biodiversidad, el agujero de la capa de ozono, la disminución de agua dulce subterránea y de superficie, etc. Las emisiones comenzaron a aumentar drásticamente en el siglo XIX debido a la Revolución Industrial y los cambios en el uso de la tierra. Muchas actividades que producen GEI resultan hoy esenciales para la economía mundial y forman una parte fundamental de la vida. El grupo del CH_4 y el N_2O , con una cuota del 18 %, se configura como el segundo bloque en importancia. Finalmente aparece el conjunto de los gases Las excretas expuestas al ambiente emiten amonio. El amonio arrastrado por la lluvia o los líquidos hacia las capas más profundas del suelo puede ser desnitrificado o bien puede llegar a convertirse en nitritos y posteriormente en nitratos por la acción microbiana de esos estratos. Si este último producto no es captado por las plantas se convierte en contaminante de los mantos friáticos (Méndez *et al.*, 2000).

3.7. Explotaciones lecheras y medio ambiente

Los problemas medioambientales más importantes derivados de la producción lechera tienen que ver con la contaminación del aire y del agua y con la biodiversidad. La contaminación del agua se produce por el inadecuado tratamiento de los residuos del estiércol y por el empleo de fertilizantes en la producción forrajera. Los nutrientes, en particular el nitrógeno y el fósforo, contaminan la tierra, aguas superficiales, subterráneas y aguas marinas, dañando los ecosistemas por eutrofización. Las aguas pueden contaminarse también por los efluentes orgánicos y los patógenos que contiene el estiércol. La contaminación del agua es fundamentalmente un problema local o regional, pero a veces puede llegar a tener carácter internacional (OECD, 2004; Hidalgo *et al.*, 2003).

Fig. 1. Cambio climático



Fuente: Empresa Agcert

3.8. Energía renovable al nuevo mercado

La Energía renovable es aquella que se produce de manera inagotable desde la escala humana y sin menoscabo de recurso alguno. Esta condición se origina por el hecho de que se obtienen de fuentes que se reproducen a tasas que hacen suponer su permanencia por un periodo considerable de tiempo en condiciones razonables de uso, o su abundancia es tal que su existencia se prevé para cientos o miles de años (SAGARPA, 2007). Las fuentes de energía renovables son aquellas que surgen de manera natural en el medio y de forma repetida en el medio ambiente (Fernández, 2006). Los energéticos más importantes para el sector lo componen la electricidad, leña y el gas licuado de petróleo (GLP); mientras que sus principales usos se refieren a la cocción de alimentos, refrigeración, iluminación y calentamiento de agua (Vargas y Otoy, 2003; Poletti y Martino, 2007).

Las energías renovables forman parte de la solución al cambio climático y la bioenergía es una forma renovable de energía, ya que la biomasa almacena a corto plazo la energía solar, en forma de carbono. Actualmente, la bioenergía suministra cerca de 10% del total de la energía primaria global, fundamentalmente por el uso tradicional de la biomasa (Greenpeace, 2007; Kowalzig, 2006).

A pesar de la creciente demanda, los costos energéticos van en aumento, cada vez mas notable la degradación de los recursos naturales, ante esto es necesario una sociedad autosuficiente que produzca prácticamente todo lo que necesite para cubrir sus necesidades materiales, de esta forma sobrarán excedentes energéticos sin necesidad de obstruir el medio ambiente (Cortéz y Barbosa, 2002).

Una tendencia que empieza a perfilarse es la sensibilización cada vez mayor respecto de los tres principales factores impulsores de la energía renovable: sostenibilidad, competitividad y seguridad del abastecimiento. La demanda de energías renovables se está convirtiendo en un factor ascendente cada vez más importante para la industria. La subida de los precios de la electricidad está obligando a los consumidores a considerar diferentes estrategias de adquisición de electricidad. La demanda de energía seguirá aumentando si no se aplican

activamente medidas de eficiencia energética (Comisión de las Comunidades Europeas, 2007).

Por lo tanto, los expertos pronostican que en este siglo la sociedad dejará de depender del petróleo y pasará a depender de la bioenergía. Es principalmente la población de menores recursos y la que vive en zonas marginales la que depende de los recursos naturales renovables como fuentes de energía (madera, carbón vegetal, estiércol) para cocina y calefacción (Sommer *et al.*, 2006).

El consumo de la energía eléctrica se ha incrementado de forma rápida, esto con la finalidad de mejorar los estándares de vida, particularmente en las naciones industrializadas. A la fecha, cerca de 87% del total de la energía se genera por medio de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), 6% se genera en plantas nucleares, y el 7% restante por medio de fuentes renovables (principalmente en plantas hidroeléctricas y eólicas). Existen comunidades que por su lejanía con los centros urbanos se las cataloga como “aisladas”. En dichas comunidades puede haber servicio eléctrico o no. La economía de estas comunidades se centra principalmente en labores agrícolas. Para el mejor desempeño de dichas labores comunitarias se requiere de fuentes energéticas accesible. En resumen los beneficios esperados se expresan como un ahorro importante en el pago de la energía, sin que esta demerite la calidad de los servicios; no se requiere que los municipios ni los gobiernos a nivel estatal o federal realicen fuertes inversiones; se promueve el uso de energía limpia no contaminante; los precios de la electricidad que pagan los municipios dejan de depender de la disponibilidad de los hidrocarburos y siempre serán inferiores a los de la compañía pública de electricidad (Ramírez y Torres, 2006).

Tres tipos de combustible contribuyen a la generación total de electricidad a partir de biomasa: la biomasa sólida, el biogás y la fracción biodegradable de los residuos municipales sólidos. Es necesario integrar adecuadamente estas energías en el mercado interior de la electricidad. El mercado interior permite poner en común la

generación, lo cual reporta ganancias de eficiencia en la producción a partir de energías renovables tanto a pequeña como a gran escala (Comisión de las Comunidades Europeas, 2007).

La primera crisis de la energía, en la década de los setenta, renovó el interés hacia estas fuentes energéticas relegadas por los combustibles fósiles; luego, en la década de los ochenta, ante las evidencias de un deterioro ambiental generalizado atribuido principalmente a la quema de aquellos, el desarrollo de las alternativas adquirió mayor importancia. Hoy en día, a más de un cuarto de siglo, muchas de las tecnologías de aprovechamiento han madurado y perfeccionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones (Posso, 2002).

3.9. Normas aplicables de las ER

Actualmente existen NORMAS OFICIALES MEXICANAS que regulan el uso de energías renovables en México una de ellas es:

La NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005.- Que establece las especificaciones técnicas de los combustibles con fines de protección ambiental, se le han hecho revisiones con el objeto de a).- establecer nuevo requerimientos de calidad de los combustibles para protección de la calidad del aire y evitar la alza de contaminación atmosférica en algunas ciudades claves del país, y de igual manera disminuir la emisión de gases que propicien el calentamiento global., b).- propiciar el avance tecnológico de los sistemas de control de la industria automotriz y c).- introducir al mercado mexicano la nueva generación de combustibles de calidad ecológica d).- facilitar la actualización de otras normas ambientales que establecen especificaciones técnicas estrictas para nuevos vehículos y para la verificación de las emisiones del parque existente (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2006).

Actualmente las normas mexicanas regulan la emisión de aguas residuales que pudiesen ser usadas incluso como agua para riego en los terrenos agrícolas de la propia explotación. Es relevante la presencia de coliformes fecales, como

contaminantes patógenos y de nitratos y fosfatos como contaminantes básicos (Méndez *et al.*, 2000).

3.10. Ventajas de las energías renovables

Son respetuosas del medio ambiente, Son inagotables y gratuitas. Son endémicas, autosuficientes, socialmente convenientes, económicamente factibles y técnicamente viables (SAGARPA, 2007; Fischer, 2007).

Las energías renovables pueden proporcionar también una salvaguardia contra la volatilidad del mercado de la electricidad (Comisión de las Comunidades Europeas, 2007).

Esta tecnología tiene varias ventajas que pueden ser consideradas, como la reducción de CH₄ (GEI) resultado del estiércol, también producción de biogás, además de la reducción significativa de patógenos que están naturalmente en el estiércol como *Escherichia coli* (Fischer, 2007).

Un beneficio agregado de digestión anaerobia de estiércoles del ganado es que los impactos potencialmente negativos de estas basuras en el aire y calidad de agua están reducidos (Humenik, 2006).

Trabajando con bioabono, resultado del biodigestor, la principal ventaja de la aplicación de MO al suelo está dada por su efecto acondicionador, siendo secundario su valor como fertilizante (Seguél *et al.*, 2002).

3.11. Desventajas de las energías renovables

Entre las desventajas se encuentran la carencia de información de tecnologías existentes, prácticas tradicionales en la industria difíciles de cambiar, y las cuestiones legales y regulatorias que en algunos casos no existen (Hilbert y Eppel, 2007).

3.12. Antecedentes de la energía renovable (biogás) en el mundo

El gas natural, que en su mayor composición es metano, fue utilizado por los pueblos chinos y persas hace miles de años como generador de temperatura. Pero pasaron muchos años hasta que se dieron cuenta que el metano no solo se encontraba en el gas natural fósil, sino que se producía constantemente. (Kaiser, 2006), Pero fue años después cuando en 1776 Volta identificó la relación del gas de pantano con la vegetación en descomposición existente en el fondo. Solo 100 años después se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano. En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con estiércol de vacas. En 1808 Humpry Dhabhi produce metano (principal componente del biogás) en un laboratorio, acontecimiento que prácticamente da inicio a la investigación relacionada con el biogás, en 1896 el biogás fue utilizado para el alumbrado de la calle Exeter, Inglaterra, en 1900 se aprobó por primera vez un digestor en Bombay, India una de las naciones pioneras en la utilización de esta energía. Después de la segunda guerra mundial empieza a difundirse en Europa fábricas de biogás, cuyo producto se usaba en los tractores y automóviles (Flotats *et al.*, 1997). La utilización de biogás fue muy importante en aquella época china, india y Sudáfrica en virtud de la escasez de recursos económicos. No obstante el fácil acceso a los combustibles fósiles limitó la difusión de la tecnología, es cuando inicia la llamada crisis energética del 73, cuando renace dicha difusión, induciendo su investigación para su desarrollo. Los países líderes en la generación de tecnología son China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, Estados Unidos, Filipinas y Alemania (SAGARPA, 2007).

En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C. Soehngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano. En 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania. Este consistía en un estanque hermético, el cual era alimentado con material fermentable para la obtención de “biogás”. Después de la Segunda Guerra Mundial se construyeron cerca de 40 biodigestores, 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 por la crisis del petróleo. Pero por problemas técnicos, baja producción de gas, alta inversión y por lo tanto baja rentabilidad, este desarrollo se frenó bruscamente a fines de los años 80. 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 biodigestores que aún no termina. Una nueva ley de energía renovable mejora en un 30% el precio de compra a los pequeños productores. Además, se está considerando un nuevo aumento del precio por el cierre paulatino de las plantas nucleares. Este proceso comienza el año 2002 con el cierre de dos reactores en Alemania y termina con el cierre total de los reactores para el año 2030 en toda Europa (Kaiser, 2007).

La aplicación de biodigestión se inició antes del siglo XX cuando el biogás era quemado para dar iluminación en Inglaterra. En los años 1930, se mantuvo un interés creciente en la aplicación de digestión anaeróbica, especialmente en zonas rurales, donde los productos de la digestión (biogás y efluente) pueden convertirse en productos aprovechables por los agricultores (Aguilar y Botero, 2006)

Actualmente se estima que los recursos bioenergéticos tales como los forestales o los cultivos agrícolas, e incluso la basura proveen cerca del 14 % de la materia prima que se producen globalmente. En México el uso de bioenergía representa el 8 % del consumo de energía primaria, principalmente por el uso de leña para la cocción de alimentos y combustibles en pequeñas industrias, tales como las ladrilleras, panaderías, tortillerías; y por el consumo de bagazo de caña en algunos ingenios azucareros (Fernández, 2006).

Las concentraciones de metano (CH₄) en la atmósfera han aumentado en un 150 % desde 1750, no habiendo sido superadas en 420,000 años. El CH₄ es el GEI más importante en la atmósfera después del vapor de agua y el CO₂ aunque su potencial

de calentamiento de la tierra es mucho mayor contribuyendo aproximadamente en el 15 % del calentamiento global de la tierra (García *et al.*, 2006).

3.13. Barreras en el desarrollo de las energías renovables en México

La falta de valoración de los beneficios que las energías renovables aportan a la economía nacional, la estabilidad de precios de la energía en largo plazo, y la reducción de riesgos en el abasto energético, aunado al hecho de contar con importantes recursos energéticos fósiles nacionales, hace que las políticas y prospectivas energéticas nacionales sigan basándose en combustibles fósiles (Torres y Gómez, 2006).

Las políticas de mitigación del cambio climático pueden ayudar a promover el desarrollo sostenible, siempre que sean consistentes con unos objetivos sociales más amplios (García *et al.* 2006).

Las principales barreras tienen que ver con la falta de capacitación de los niveles técnicos y operativos, la falta de representatividad de productores agropecuarios en la toma de decisiones, el limitado acceso a créditos e incentivos económicos, el acceso a tecnología y a expertos, y la falta de educación de la población estudiantil (Cornejo y Toro, 2001).

En materia de estructura de mercado, el sector eléctrico Mexicano se compone por un oligopolio regulado en generación eléctrica, un monopsonio en cuanto a compra de energía, un monopolio en cuanto a transmisión se refiere y un oligopolio en distribución y comercialización de la electricidad. Uno de los principales problemas tanto de índole económica, social y ambiental que enfrentan todos los países a nivel local es la generación de desechos sólidos, como producto del consumo en todos los sectores de la economía. Los procesos de producción y consumo generan excesiva cantidad de materiales, que usualmente terminan siendo desechos a los que no se les da el adecuado tratamiento o ubicación para su depósito final. En algunos casos, aunque existen posibilidades de ser tratados, recuperados o reciclados, no existe

una adecuada organización local o gubernamental que facilite este tipo de procesos (Vargas y Otoy, 2003).

Los sistemas energéticos eficientes, basados en el uso de la biomasa, tienen buenas posibilidades de éxito comercial, siempre que empleen materiales con bajo costo de oportunidad, requieran sólo niveles reducidos de inversión de capital y tengan una flexibilidad implícita (Trindade, 2000).

La digestión anaerobia de estiércoles del ganado bajo las condiciones controladas para producir el biogás (una mezcla de metano y anhídrido carbónico) puede proporcionar la oportunidad de aumentar el ingreso del establo neto a productores del ganado, típicamente usando el biogás capturado para generar electricidad para el uso del in-situ, o entrega a una utilidad eléctrica local o ambos (Humenik, 2006).

La naturaleza hace una labor intensiva al dotarnos de energía renovable incluyendo tecnología, produciendo, instalando y manteniendo estas tecnologías, medios que miles mas personas emplearían si estos fueran apoyados por el gobierno (Hjortshoj, 2004).

3.14. Que es bioenergía?

Es el resultado del uso de la biomasa de reciente origen biológico o de sus productos metabólicos para fines energéticos. La bioenergía es la energía útil y renovable, producida a partir de la materia orgánica. Esta materia orgánica o biomasa puede ser utilizada directamente como combustible o procesarse en algunos casos para convertirse al estado líquido o gaseoso (Fernández, 2006).

3.15. Que es biogás?

Es la mezcla de gas producido por bacterias metanogénicas que transforman material biodegradable en condiciones anaerobias. Está compuesto de 60 a 80% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono y trazas de otros gases, como nitrógeno, ácido sulfhídrico, monóxido de carbono e hidrógeno. El biogás tiene un poder

calorífico entre 4500 y 6500 Kcal. / m³ o 6.27 kwh*(m³)-1 o bien expresado de otra forma tiene un valor calorífico de 4.5-5.0 MJ/kg (Trindade, 2000. Herrera y Peralta, 2005. Álvarez *et al.*, 2005). Para alimentar los equipos que generan el biogás (biodigestores) se pueden utilizar estiércoles de bovinos, caprinos, porcinos y otros animales (UPME, 2003; Flotats *et al.*, 1997); El metano se puede obtener a partir de diferentes compuestos orgánicos, como proteínas, grasas y carbohidratos. El metano se forma en conjunto con dióxido de carbono en una relación de 2:1. Esta mezcla gaseosa producida por la descomposición anaeróbica es lo que se denomina biogás (Kaiser, 2007; Sahlström, 2006).

El biogás pueden ser utilizado ya sea para electricidad o para energía calórica, últimamente esto ha generado otra ventaja a nivel ambiental que son los llamados "bonos de carbono", como resultado de los esfuerzos de los países para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se han establecido estrategias a partir del protocolo de Kyoto, en donde se han asignado valores monetarios a estas emisiones (bonos de carbono) (SAGARPA, 2007).

La digestión anaerobia, que se define como "la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo dióxido de carbono" es una opción para el tratamiento de la fracción orgánica biodegradable de los residuos sólidos, ya que con su implementación se disminuye el riesgo de generar polos infecciosos a causa de su carácter anaerobio. Además se producen dos efluentes residuales importantes como lo son el biogás que puede ser utilizado como fuente de energía y un efluente líquido que puede utilizarse como acondicionador de suelos por sus características fisicoquímicas. (Castillo *et al.*, 2005; Soria *et al.*, 2001).

La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄. Naturalmente ocurre

en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores. Estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia (gases y sólidos), ya que al haber en su interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Soria *et al.*, 2001). Los sistemas anaerobios son particularmente vulnerables a altas concentraciones de metales pesados, la toxicidad de los metales pesados dependen de la forma química que asuma en el biodigestor y de los niveles de pH (González *et al.*, 2002).

Los tratamientos anaerobios tienen ventajas porque usan espacios moderados y sin aireación, aceptan variaciones grandes de carga, trabajan a temperaturas bajas con poca energía, conservan compuestos valiosos como amonio, degradan solventes peligrosos como cloroformo, tricloroetileno y tricloroetano (en concentraciones bajas), reducen sustantivamente la demanda química de oxígeno de las aguas (en más de 90%), entregan descargas estabilizadas con pocos lodos que remover, y producen biogás compuesto principalmente por dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) que puede generar parte de la energía requerida (Alcayaga *et al.*, 1999).

El biogás puede tratarse en pequeñas unidades individuales de biogás del tamaño de una explotación agraria o en unidades colectivas y centralizadas. Estas unidades, son capaces de tratar a la vez diferentes tipos de residuos, principalmente abono y abono líquido mezclado con otros residuos orgánicos. Las centrales de biogás constituyen un medio eficiente de tratar los residuos biológicos de la agricultura y de la industria, y su tamaño permite aprovechar el contenido energético de los residuos (Comisión de Comunidades Europeas, 2007). Para algunos autores el biogás es considerado como mezcla de metano y otros gases que se desprenden durante la degradación anaerobia de la materia orgánica por la acción de microorganismos (Sistemas de Energía Internacional, 2005).

La composición del biogás en México es la siguiente

METANO (CH₄), su concentración por volumen es de 55%, es explosivo.

BIÓXIDO DE CARBONO CO₂, su concentración por volumen es de 35%.su característica principal es la acidez.

HIDROGENO H₂.- su concentración por volumen es de 5%, su característica principal explosivo.

OXÍGENO O₂.-su concentración por volumen es de 5% e inocuo

MERCAPTANOS CH₃S.-su concentración por volumen es de 1.1% y es de mal olor.

ACIDO SULFHIDRICO H₂S.-su concentración por volumen es < 2% y es de muy mal olor (Sistemas, 2005)

En condiciones anaerobias se inicia el proceso cuando se acumulan polímeros naturales orgánicos como proteínas, carbohidratos, celulosa, etc., se produce un rápido consumo de oxígeno, del nitrato y del sulfato por los microorganismos, produciéndose la metanogénesis; en estas condiciones, el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férrico y mangánico, debido a la ausencia de oxígeno (Soria *et al.*, 2001).

3.16. Que es un biodigestor?

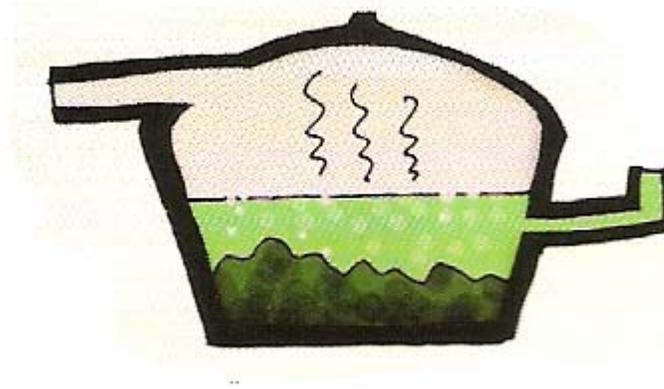
El biodigestor es el depósito sellado herméticamente donde se introducen los desechos orgánicos y donde se realiza la fermentación anaerobia de los mismos, el gas producido se dirige mediante el sistema de conducción a un gasómetro que contabiliza la cantidad producida, y de ahí se distribuye para su aprovechamiento como fuente calorífica, o como combustible para la generación de energía eléctrica mediante un generador adecuado, o bien se contabiliza y quema para la obtención de certificados de reducción de emisiones (SAGARPA, 2007).

3.17. Proceso de la biodigestión

Inicialmente la carga (residuos orgánicos previamente recolectados y tratados) se adiciona al digestor por medio de un tanque de carga. La digestión anaerobia tiene lugar en el digestor (tanque sellado) el cual crea las condiciones ideales para que las

bacterias fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Es posible que el digestor necesite de calentamiento y de agitación para lograr dichas condiciones y para que de esta manera las bacterias conviertan la materia orgánica en biogás. Durante este proceso entre el 30 y 60% de los residuos orgánicos se convierten en biogás. (UPME, 2003). La generación de biogás constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza (Hilbert, 2001).

Figura No. 2. Representación del proceso de digestión anaerobia



El proceso de biodigestión anaerobia, donde la materia orgánica se degrada para producir metano mediante un conjunto de interacciones complejas entre distintos grupos de bacterias. Existen 3 fases básicas en este proceso así como también existen 3 grupos esenciales de bacterias que intervienen en el mismo. El primer grupo de bacterias son las llamadas formadoras de ácidos y su función es hidrolizar las moléculas complejas de materia orgánica para originar ácidos grasos de cadena corta y alcohol. El segundo grupo es acidogénica o fermentativa, las moléculas orgánicas solubles son fermentadas, formando compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y CO_2 por un grupo de bacterias que aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de la digestión anaerobia es ser donantes de hidrógeno, CO_2 y acetato para las bacterias metanogénicas (Vargas y Carol, 2005).

El tercer grupo está formado por microorganismos comúnmente llamados metanogénicos y su función es convertir los productos ya degradados en metano

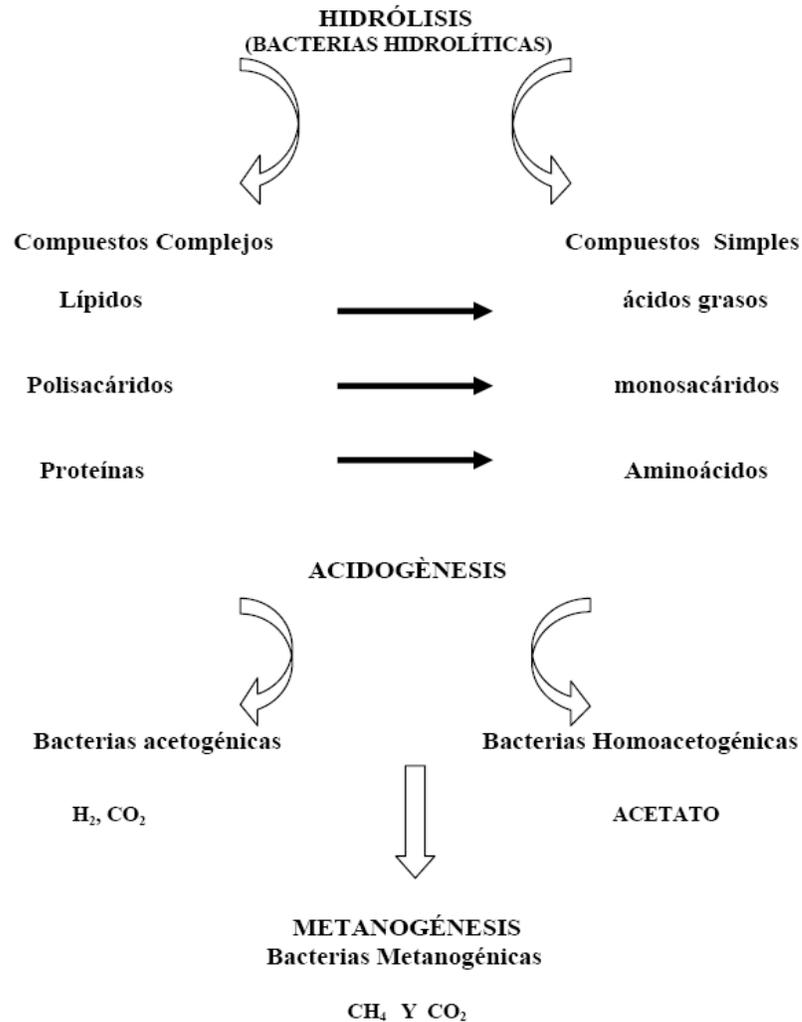
(CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Ly y Domínguez, 2004). La cantidad de biogás producida es influenciada por varios parámetros. Cabe destacar la importancia de colectar el biogás y utilizarlo para evitar su emisión al ambiente por su impacto en el efecto invernadero (Cervantes *et al.*, 2007).

La biodigestión anaerobia representa un importante papel, pues aparte de permitir a reducción significativa del potencial contaminante, se trata de un proceso muy complejo para la generación de calor y la volatilización de los gases, considerándose un pH neutro, y temperatura media, para que se considere la recuperación de energía en forma de biogás y el reciclaje del efluente (Souza *et al.*, 2005).

La transformación de la materia orgánica por microorganismos anaerobios (fermentación) es el de más importancia en el mantenimiento de la vida en nuestro planeta por su contribución al ciclo del carbono. En la primera etapa de fermentación, las bacterias hidrolizan las proteínas, grasas, y polisacáridos para generar aminoácidos, péptidos de cadenas cortas, monosacáridos, disacáridos, polisacáridos. En una segunda etapa de este proceso se da la transformación de los productos de la hidrolización a alcoholes simples y diversos ácidos orgánicos como el acético, propiónico, y butírico mediante la participación de bacterias acetógenas. En la tercera etapa donde se genera el metano, el pH y la temperatura tienen una importancia decisiva en la rapidez y cantidad de metano generado (González y Longoria, 2005).

El mayor número de especies de bacterias metanogénicas pertenecen al primer grupo. Los géneros de metanobacterias hidrogenofílicas mesófilas más frecuentes en reactores anaerobios son: *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanobrevibacter* (Herrera y Peralta, 2005)

Fig. 3. Formación del biogás durante el proceso anaerobio



Fuente: Herrera y Peral, 2005

Las excretas contienen nutrientes que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. Una forma de hacerlo es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrientes contenidos en las excretas y, además, se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de

insectos, etc., en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (Soria *et al.*,2001).

Los materiales con alto contenido de nitrógeno, tales como las excretas de animales, se descomponen fácilmente y producen biogás de una forma rápida; por lo tanto, el período fermentativo es corto. La descomposición de materiales con un alto contenido de carbono es más lento, pero el período fermentativo es más largo. Los materiales con diferentes proporciones de carbono/nitrógeno (C/N) difieren ampliamente en sus rendimientos en biogás. 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 biodigestor 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 (Ly y Domínguez, 2004). Para combatir la toxicidad por metales pesados en la degradación anaerobia estos pueden precipitarse como sales de sulfato o sales de carbonato excepto el hierro y el cromo (Peralta, 2005)

Al cabo de un año de la alimentación inicial del biodigestor se hace la descarga, obteniéndose el bioabono sólido o biosol. Por otro lado, obtenemos de manera constante bioabono líquido o biol, que no sólo es un excelente abono orgánico para nuestros cultivos, sino que, por su contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales (Morales y Moreno, 2005).

El residuo líquido, técnicamente, contiene minerales como el nitrógeno, carbono, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cinc, manganeso, cobre, hierro y sodio que después de la biodigestión anaerobia, todavía puede usarse para fertirrigación, desde que el proceso de la digestión no disminuye substancialmente el volumen mineral (Barana y Ribas, 2003).

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) (Hilbert, 2001).

3.18. Calidad de residuos

- La calidad de la materia prima en términos del rendimiento del gas dependerá en parte de su frescura: entre más fresca sea, el rendimiento del gas será mayor y tendrá menor peligro de acidificarse.
- Las materias primas ácidas o básicas pueden inhibir o incluso dañar las bacterias en el digestor.
- Si bien la digestión anaerobia es un proceso complejo y largo, el cual puede ajustarse a pequeños cambios, los cambios drásticos de materia prima deben evitarse y se debe tener cuidado en realizar la mezcla con las cantidades de agua recomendadas.
- El carbono y nitrógeno presentes en la mezcla de carga debe estar entre 20 y 30; es decir 20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno (UPME, 2003)

3.19. Tipos de biodigestores

Los tipos de biodigestores dependen básicamente de la aplicación de gas, las características del material a ser digerido, las exigencias en cuanto a lograr descontaminar y la cantidad de materia prima disponible, la clasificación mas usual se basa en la forma de carga del biodigestor con los desechos que se van a descomponer, El diseño de los biodigestores puede adoptar dos rumbos:

Continuos: Aquellos en los cuales se producen cargas diarias.

Discontinuos: Aquellos que se cargan una sola vez y se dejan fermentar la materia orgánica (Hilbert y Eppel, 2007).

El medio ambiente con sus características climáticas y de suelo condicionan el tipo de digestor a construir incidiendo también en la selección del modelo y el monto de la inversión inicial necesaria ya que existen parámetros que pueden ser modificados

como la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad de carga volumétrica los cuales están relacionados entre sí y determinan la eficiencia final del digestor y la energía neta disponible (Hilbert, 2001).

Los biodigestores también pueden clasificarse por su modelo. La mayoría de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se desarrollaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva:

Modelo Chino (Planta De Cúpula Fija): cuya forma se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión.

Modelo Hindú (Planta De Cilindro Flotante): que posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana de gas. Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es por lo general el componente mas caro del equipo (Peralta, 2005; Hilbert y Eppel, 2007)

Es importante saber que las sustancias tóxicas presentes en las materias primas deben ser mínimas, y que ciertos materiales no deben ser cargados al digestor ya que dañan el proceso, estos incluyen:

- Materiales tóxicos que inhiben la digestión (ej. amonio, residuos de pesticidas, metales pesados, aceites y grasas).
- Los residuos deben estar libres de sólidos y otros materiales como arena, rocas y piedras. Algunos materiales sólidos como el aserrín o la paja muchas veces se mezclan con los residuos. La aglutinación de sólidos bloquea las tuberías del digestor y obstaculiza la operación.
- Otros materiales como residuos medicinales, antibióticos, detergentes, ácidos o bases, sustancias con elementos halógenos, etc., pueden ser nocivos para la acción de las bacterias anaerobias

(UPME, 2003)

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cual el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una dificultad en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas. Para el mejor funcionamiento del biodigestor es necesaria la agitación – mezclado, los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica (Hilbert, 2001).

3.20. Efecto de los subproductos sobre el suelo

Debido a su rápida descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo. El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio (NH_4) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de desnitrificación biológica (Capulín, 2001; Barana y Ferreira, 2003).

Dado que el estiércol contiene grandes cantidades de compuestos orgánicos de fácil descomposición, la adición de estiércol al suelo casi siempre resulta en un aumento en la actividad biológica. En general, esto incrementa la disponibilidad de muchos nutrimentos para las plantas, así como la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica y la retención de agua en tanto que la densidad aparente se disminuye (Serrato *et al.*, 2002).

Composición del estiércol bovino lechero

Nitrógeno (N) con la composición 1.69 kg Mg⁻¹, Fósforo (P) 0,48 kg Mg⁻¹, Potasio (K) 3.8 kg Mg⁻¹, Calcio (Ca) 3.72 kg Mg⁻¹, Magnesio (Mg) 0.65 kg Mg⁻¹, Sodio (Na) .58 kg Mg⁻¹, Sales Solubles 6.0, Relación C/N 16, Cenizas 35.4 (Serrato et al., 2002).

3.21. Factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia

Factores ambientales: Existen varios factores que influyen en el proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica, como el pH, la temperatura, disponibilidad de nutrientes, presencia de sustancias tóxicas, tiempo de retención y ritmo de carga. El valor óptimo de pH está en el rango de 6.6 a 7.6. Cualquier cambio en las condiciones ambientales puede influir en este equilibrio, y resultar en la formación desproporcionada de compuestos intermedios que pueden inhibir todo el proceso (Ly y Domínguez, 2004), el valor óptimo de la temperatura en un biodigestor debe ser mayor de 10°C (González y Longoria, 2005; Álvarez *et al.*, 2005; Flotats *et al.*, 1997).

La producción de biogás depende particularmente de las características y tipos de materia orgánica así como de la cantidad del mismo. Existen diversos factores que afectan la producción de biogás tales como el tipo de sustrato o nutrientes, la temperatura del sustrato, la carga volumétrica, el tiempo de retención, el grado de mezclado y la presencia de inhibidores del proceso (SAGARPA, 2007).

Aunque existen muchos factores que influyen en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, la cantidad y calidad de los residuos recolectados determina la cantidad de biogás a ser producido. La cantidad de residuos producidos en las instalaciones está directamente relacionada al número de animales que en ellas se encuentren, sin embargo, se tiene una mayor producción de biogás, si los residuos son frescos y se alimentan al biodigestor con regularidad, con una cantidad mínima de contaminantes. De acuerdo a esto, la cantidad de animales que existan en una instalación constituye el indicador de la potencial producción de biogás. La cantidad

de animales y la proporción de residuos recolectados se utiliza para indicar qué otros detalles técnicos deben tenerse en cuenta (UPME, 2003).

Cuadro 4. Rango de valores de pH en la generación de biogás

Cuando el pH es de 7-7.2 se caracteriza como óptimo, cuando es menor de 6.2 provoca un retardo por ácidos, cuando el pH es mayor a 7.6 provoca un retardo por amonios (Infantes, 2006).

Existe una estrecha relación entre la temperatura y tiempo de descomposición del material en el biodigestor. A mayor temperatura, más rápido es el proceso de descomposición; esto significa que el material requiere menos tiempo dentro del fermentador (Kaiser, 2006).

3.22. Importancia del metano

El metano es un hidrocarburo y el principal componente del gas natural, así como uno de los más importantes gases de efecto invernadero. A nivel mundial el metano es emitido a la atmósfera en vez de ser usado como combustible causando severos problemas ambientales. Al rededor del 60 % de las emisiones emitidos son ocasionadas por fuentes antropogénicas que a continuación se enumeran: vertederos, minas, operaciones con gas y petróleo y la agricultura, y el resto del metano es emitido por fuentes naturales como pantanos, hidratos de gas, permafrost y termitas. El metano es una fuente de suma importancia en la industria limpia. Al metano se le considera un poderoso GEI (Gas de Efecto Invernadero) porque por unidad de peso es 23 veces mas potente que el CO₂ en atrapar el calor de la atmósfera en un periodo de 10 años; es de vida corta puesto que tiene una estancia en la atmósfera de 12 años debido a estas propiedades únicas la reducción de emisiones de metano tiene un importante impacto rápido y significativo en el calentamiento atmosférico y con ello beneficios energéticos, económicos y sociales (Kruger y Gunning, 2005).

El metano afecta la composición química de la atmósfera, influyendo en la concentración del ozono, del radical hidroxilo y del monóxido de carbono. El metano reacciona con átomos de cloro en la estratosfera para formar cloruro de hidrogeno ($\text{CH}_4 + \text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3^* + \text{HCl}$) una especie inactiva en las condiciones dadas en esa región de la atmósfera terrestre y evita la participación de átomo cloro en la destrucción de la capa de ozono, en la troposfera el metano reacciona en forma competitiva con el radical hidroxilo libre, con el monóxido de carbono dando origen a otras especies de efecto invernadero como agua y dióxido de carbono ($\text{CH}_4 + \text{HO}^* \rightarrow \text{CH}_3^* + \text{H}_2\text{O}$ y $\text{CO}_2 + \text{HO}^* \rightarrow \text{H}^* + \text{CO}_2$) (González y Longoria, 2005).

Según dos terceras partes de las emisiones totales de CH_4 son de origen antropogénico y la mayoría provienen de la agricultura. Aunque parecen haberse identificado los principales contribuyentes al balance mundial del CH_4 , la mayoría de ellos son bastante inciertos cuantitativamente, por la dificultad de evaluar los índices de emisión de fuentes muy variables en la biosfera. El suelo se considera el único sumidero significativo de CH_4 , estimándose que la concentración atmosférica sería el doble sin este sumidero (García *et al.*, 2006).

La investigación se focaliza en el metano porque:

- Es un gas que posee 23 veces más potencia de efecto invernadero que el CO_2
- Porque es el segundo gas de efecto invernadero encontrado en la atmósfera
- Su recuperación puede traer múltiples beneficios

(Hilbert y Eppel, 2007)

Cuadro No. 1. Generación y secuestro de gases efecto invernadero

Elemento	Captura	Generación
Dióxido de carbono (CO ₂)	Océanos, forestación	Quema de combustibles fósiles (82%), procesos industriales (5%), agricultura (9%), deforestación y quema de biomasa
Metano (CH ₄)		Ganadería (36%), emisiones fugitivas (31%), desechos sólidos (28%), quema de combustibles fósiles (2,6%), otros
Óxido nitroso (N ₂ O)		Fertilizantes nitrogenados (69%), transporte (10.5%), procesos industriales (12.3%), otros
Ozono (O ₃)		Contaminación urbana
Clorofluorocarbonos (CFC)		Refrigeración, aire acondicionado, procesos industriales
Vapor de agua(H ₂ O)		Tráfico aéreo
Dióxido de azufre (SO ₂)		Plantas termoeléctricas y otras plantas industriales
Sulfuro hexafluorido (SF ₆), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC)		

Fuente: Hilbert y Eppel, 2007

La generación de energía eléctrica a partir del metano es una alternativa que esta tomando una gran importancia en todo el mundo, por otras circunstancias esto ha sido una necesidad primordialmente ambiental y en seguida económica (Vargas y Otoyá, 2003)

3.23. Tipos de biomasa

Biomasa natural: es la que se produce espontáneamente en la naturaleza, tales como bosques, matorrales, herbazales, etc. No es la más adecuada para un aprovechamiento energético masivo ya que puede causar una rápida degradación de los ecosistemas naturales. Biomasa residual: es la procedente de actividades

agrícolas, ganaderas y forestales. Su utilización ofrece en principio perspectivas atrayentes aunque limitadas, siendo en general más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía generada (Posso, 2002).

Todos los tipos de biomasa generan bioenergía, aunque en algunos casos el proceso es diferente y el resultado una alternativa de energía.

Cuadro No. 2. Valorización de desechos orgánicos

Desechos	Procesamiento	Productos
Agrícolas.	Digestión Aeróbica.	Compost.
	Digestión Anaeróbica.	Biogás y Bioabono.
Agroindustriales.	Fermentación de los Azúcares.	Etanol.
	Hidrólisis y fermentación de la Celulosa.	Etanol.
	Condensación.	Briquetas (Combustibles Almacenables).
Pecuarios.	Digestión Aeróbica.	Compost.
	Digestión Anaeróbica.	Biogás y Bioabono.
Municipales.	Digestión Aeróbica.	Compost.
	Digestión Anaeróbica (Rellenos Sanitarios).	Biogás.
	Incineración.	Energía Eléctrica y Calor.
Industriales.	Digestión Anaeróbica.	Biogás.

Fuente: (Reyes, 2000)

3.24. Comercio por bonos de carbono

Gracias al biodigestor el establo puede entrar al mecanismo de desarrollo limpio (MDL), que es la cantidad de CO₂ que ya no es emitida a la atmósfera, y se le llama bonos de carbono, de esta manera el establo vende estos bonos a una empresa que esté comprometida a disminuir sus emisiones de CO₂, haciéndolas propias y el establo tiene un ingreso de capital y contribuye a la disminución de CO₂, actualmente no hay un valor “oficial” sobre el precio de una tonelada de CO₂ reducida o no emitida, pero todas las operaciones de compra-venta en el comercio de bonos de carbono están regidas por un contrato entre el comprador y el vendedor. Aunque el precio varía dependiendo del contrato, país, sitios, etc. (Vargas Y Carol, 2005; INE, 2008; Carbon Finance, 2008)

IV. MATERIALES Y METODOS

Estudio del establo

El estudio se llevó a cabo de octubre del 2007 al mes de agosto del 2008 en el establo “Batopilas” ubicado en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, con una altitud de 1100m sobre el nivel del mar, su localización geográfica paralelo 25° 46' 31” latitud norte; meridianos 103° 16' 23” longitud oeste; la constitución edafológica del municipio es migaron arcillo arenoso, aunque existen algunos suelos arcillosos y arenosos ligeramente alcalinos. El clima en el municipio es de subtipos secos semicálidos; la temperatura media anual es de 20 a 22°C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 300 a 400 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de mayo, junio, julio, noviembre, diciembre y enero; los vientos predominantes tienen dirección noreste con velocidad de 27 a 44 Km. /hr. La frecuencia de heladas es de 20 a 40 días y granizadas de cero a un día. Respecto al uso del suelo, la mayor parte del territorio municipal es utilizado para el desarrollo pecuario, siendo menor la extensión dedicada a la producción agrícola y el área urbana (INEGI, 2005).

Historial del establo

En lo que al establo respecta cuenta con instalaciones antiguas, y comenzaron a buscar apoyo en 1991, fue en 1995 cuando fue aprobado su primer proyecto, en 1998 se hizo el primer planteamiento del proyecto actual; entre las características del establo es que produce 8500 l/día de leche; tiene una extensión de 150 ha sembradas por sorgo, maíz y alfalfa, 10 ha lo que corresponde a las instalaciones del establo, y faltan 180 ha que aún no han sido utilizadas, dando un total 340 ha de superficie.

Establo Batopilas es el único en la Comarca Lagunera que cuenta con un biodigestor anaeróbico para bovinos y que actualmente se encuentra en funcionamiento, son 59 los socios que manejan este establo, quienes hacen posible su funcionamiento, este mismo fue financiado por la ONU, el Banco Mundial, el gobierno del estado, por los productores y algunos extras que apoyan este proyecto.

4.1. Materia prima

Como materia prima se encuentra el estiércol de bovino lechero, material biológico que es la base de la evaluación durante el análisis de sustentabilidad.

4.2. Arquitectura del biodigestor

La instalación del biodigestor de Batopilas toma en cuenta las condiciones en las que se encuentra el establo (la ubicación de norias, tomas de agua, el desalojo de los residuos, clima y edafología), influyendo de tal manera en el diseño del biodigestor, aunque también es importante mencionar que depende de la misma forma, de los objetivos del proyecto; en este caso la prioridad es obtener bonos de carbono, ahorro de energía eléctrica y un establo sustentable no agresivo con el medio ambiente.

Para la instalación del equipo del biodigestor se usó una bomba de agua para conducción de la misma a las canaletas por medio de tubos de PVC; y cemento para las la construcción de las canaletas del flushing. Para carcamo se usaron solo materiales de construcción como cemento, varilla, PVC y bloc, para construir la fosa de los residuos agrícolas. Para el desarenador se utilizó material de construcción únicamente como bloc, varilla, cemento y PVC., para cimentar la fosa de los residuos sólidos del carcamo.

Para la cámara del biodigestor se utilizó cemento, varilla y bloc para edificar la cámara de biodigestión. Una geomembrana de 87 m x 47 m para sellar herméticamente la cámara de biodigestión; una válvula de gas y tubo de PVC para la conducción de biogás cuando así sea requerido.

Entre los equipos que complementan el proceso están; el medidor el cual da la cantidad de biogás generado, el quemador que es usado cuando el generador no esta encendido por tanto esa energía se quema y el generador de energía eléctrica modificado para biogás que una llegado el biogás pasa por un filtro de sustancias donde es separado el biogás de los nitratos y sulfatos, para así dirigirse a un

pequeño quemador que envía el metano en forma de energía calorífica a pistones donde es transformada en energía eléctrica

4.3. Variables del análisis de sustentabilidad.

4.3.1. Consumo de energía eléctrica.

Mediante un estudio económico realizado en la mayoría de la población se tomaron datos claves para determinar el consumo de energía por familia, y cada una con 5 integrantes aproximadamente; posteriormente se calculó el total de consumo de energía eléctrica en toda la población tomando en cuenta los datos otorgados por INEGI y CFE.

Para el cálculo del consumo de energía eléctrica del establo se tomaron los datos de la Comisión Federal De Electricidad (CFE) recientes; de la misma forma se hizo un inventario de los equipos eléctricos del establo y complementar la información otorgada por la CFE.

Para determinar el total de consumo de energía eléctrica se sumaron las dos variables de consumo energético.

4.3.2. Volumen del biodigestor. En este caso el estiércol producido por la cantidad de cabezas de ganado en el establo producirán el gas necesario que llevará a cabo la operación determinada de la unidad generadora. Se dividió en tres secciones

4.3.2. a. Volumen de biomasa.- La alimentación y peso del bovino lechero están relacionados en un 8% con su producción de excretas diarias. Por tanto se hicieron hatos de acuerdo al estado de producción de las vacas en relación al número de bovinos de leche por hato, peso (*8.2%), estiércol generado dividido entre el valor de la relación agua-estiércol según el estado de producción del bovino de leche. posteriormente se calculó la generación de estiércol total por cabeza de bovino, en seguida se calculó la cantidad de estiércol por hato tomando en cuenta la relación estiércol-agua, relacionado con trabajos realizados por Botero y Preston en 1987.

Formula para el cálculo del volumen de la digestión de la biomasa.

$$VB = TR \times [EP/\rho EP + RA/\rho A]$$

Donde:

VB es el volumen del biodigestor.

TR es el tiempo de retención.

EP es el estiércol producido.

ρEP es la densidad del estiércol.

RA es la cantidad de agua agregada en la mezcla según la relación estiércol agua.

ρA es la densidad del agua.

4.3.2. b. Volumen del biogás

El peso del bovino lechero es multiplicado por la cantidad de biogás que genera de acuerdo a la especie animal, multiplicado a su vez por la cantidad de horas que dura encendido el generador eléctrico, por el número de bovinos de leche por hato, posteriormente se suma para obtener el total.

4.3.2. c. Volumen total del biodigestor

Fórmula para obtener el volumen total del biodigestor

$$VBD = VD + VG$$

$$VD + VG = VBD$$

Donde

VD es el volumen de digestor

VG es el volumen del gas

VBD es el volumen del biodigestor

4.3.3. Capacidad de energía generada

Se multiplica únicamente el número de horas que permanece encendido el generador por la capacidad de generación eléctrica.

4.3.4. Inversión del biodigestor

El biodigestor fue financiado por varias dependencias como el Banco Mundial a través de la ONU, el gobierno estatal, y los mismos socios del establo

4.3.5. Estudio económico del ejido Batopilas

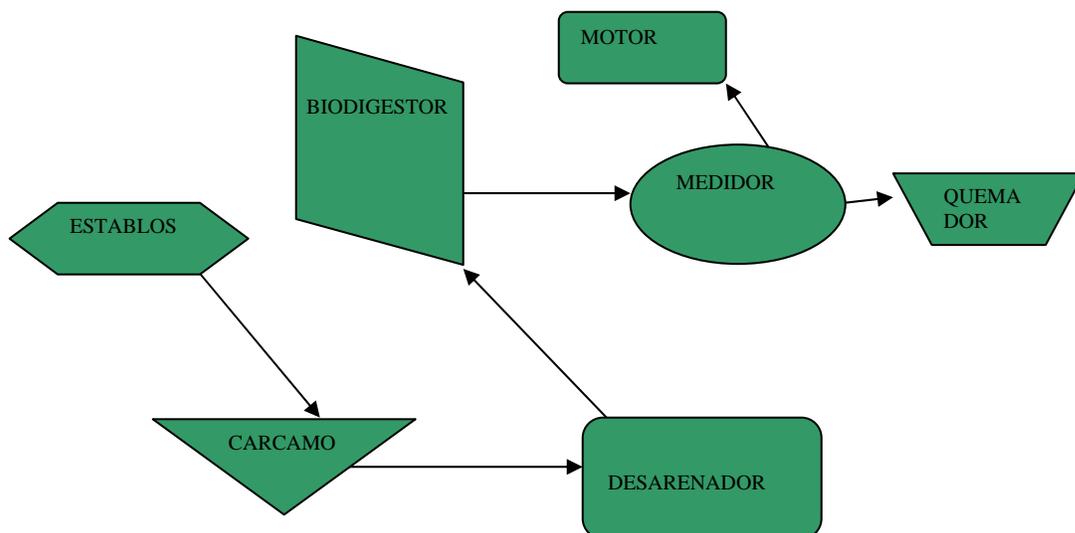
Se tomaron en cuenta parámetros como Cotización del biodigestor, Funcionamiento y equipo de la planta, Mano de obra, Mantenimiento y repuesto para obtener el total económico invertido en el proyecto.

4.3.6. Otras variables

Entre las variables que se tomaron en cuenta fue el Ahorro de agua, fertilizantes, vida útil, bonos de carbono, ahorro financiero extra, e ingresos económicos al establo.

4.4. Proceso de la materia orgánica

Fig. No. 4. Proceso de la materia orgánica en el biodigestor instalado en el establo Batopilas



Tiene un mecanismo de conducción llamado "Flushing" que transporta la materia orgánica a través del escurrimiento del agua hacia el canal de recolección.

El esquema representa el proceso de la materia orgánica. La materia va del establo al cárcamo donde es almacenada, en este cárcamo existe un tubo de extracción para extraer los sólidos que se acumulen durante el proceso, es una forma de llamarle desarenador. Después de ahí es conducido al biodigestor donde permanece un tiempo de 35-38 días, que es el tiempo promedio para que se comience a generar metano, el biodigestor está sellado herméticamente, el cual cuando tiene una cantidad considerable de metano se infla la bolsa; el cual es conducido por hidropresión hacia el medidor seguido hacia el motor y si se encuentra apagado este es dirigido al quemador para su combustión.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es indispensable el aprovechamiento sustentable en todos los aspectos, comenzando por el uso del estiércol bovino que en su momento fue un desecho orgánico ahora pasó a ser una fuente de energía renovable. Los biodigestores se instalan de acuerdo a las necesidades del lugar, en este caso lo que importa realmente es la reutilización del agua, la composta, generación de energía eléctrica, bonos de carbono y aprovechamiento del estiércol; para una sustentabilidad económica mas eficiente para los 59 socios del establo.

El motor del biodigestor de marca Perkins tiene una capacidad de generación de energía eléctrica de 75 kw/hr.

Cuadro 3. Variantes evaluadas del ejido "Batopilas".

Población de batopilas	1200 habitantes
Gasto de electricidad promedio por familia	300 kw/bimestre
Viviendas	300 viviendas
Integrantes de familia	4 o 5 personas
Precio watts	.753 centavos/bimestre
Gasto de energía eléctrica	90,000. kw/bimestre
Gasto económico	\$ 67,770. bimestrales
Total a pagar por familia	\$225.00 – \$230.00 bimestre

5.1. Consumo de energía del establo

En el establo se cuenta con varios equipos que consumen una gran cantidad de energía eléctrica, existe una relación de potencia de consumo y el tiempo de uso de cada equipo.

Cuadro No. 4. Consumo de energía

Equipo	Potencia de consumo Hp	Horas de uso
Equipo de ordeña	20	6
Motor de cárcamos	15	¼
Rebombeos al estanque	30	6
Tanque de enfriamiento	4	7
Hidroneumático	5	11/2
Compresor	1.5	1/3
luz	6	6

Estos equipos se usan alternadamente, mientras está funcionando la ordeñadora los otros equipos están apagados, para poder trabajar con una potencia de 75 Hp

5.2. Gastos de luz

El establo y la población pagan \$110,000.00 de luz por bimestre.

Cuadro No. 5. Gastos de luz

	Cantidad
Población	\$ 70,000.00
Establo	\$ 40,000.00
Total	\$ 110,000.00

5.3. Cálculo del volumen del biodigestor

En este caso el estiércol producido por la cantidad de cabezas de ganado en el establo producirán el gas necesario que llevará a cabo la operación determinada de la unidad generadora.

5.3.1. Volumen de la biomasa

En el establo hay 621 cabezas de ganado que de acuerdo a su peso y alimentación producen un 8.2% de estiércol. A continuación se representa la relación estiércol – agua por cabeza de ganado.

Cuadro No.6. Volumen de la biomasa

Hato	Cantidad	Peso (Kg.)	Estiércol Gen. kg	Relación E/A
Vacas Prod.	325	650	53.3	266.5
Vacas secas	76	700	57.4	114.8
Vaquillas	100	520	42.64	127.92
Becerras	120	150	12.3	61.5

Nota: la relación peso – excretas se obtiene del 8.2% del peso de la vaca que equivale a su producción de estiércol diaria.

La relación peso-estiércol varía de acuerdo a la alimentación

Vaca Prod. y becerras.-1 - 5, Vacas secas.- ½, Vaquillas.- 1/3

La producción de estiércol de una vaca depende básicamente de la alimentación, esto da lugar a que si una vaca es alimentada con más fibra el porcentaje de agua será menor como sucede con las vacas secas. Si la ración es de forrajes ricos en proteína como los granos, las vacas tendrán mayor producción y producirán un 15% de materia seca. Tal es el caso de la vacas secas que son alimentadas por silo de sorgo, semilla de algodón, fibra y forraje verde; las vacas en producción son alimentadas con forraje de mejor calidad, granos, pastas, harinas, etc.

Cuadro No. 7. Generación total de estiércol.

Hato	No. Vacas	Cant./ estiércol /día kg	Estiércol generado kg/vaca
Vacas prod.	325	53.3	17,225
Vacas secas	76	57.4	4,362.4
Vaquillas	100	42.64	4,264
Becerras	120	12.3	1,476
Total			27,327.4

Cuadro No. 8. Cantidad de estiércol por hato

Hato	No. Vacas	Relación E/A l/ vaca	Estiércol generado l/día
Vacas prod.	325	266.5	86,612.5
Vacas secas	76	114.8	8,724.8
Vaquillas	100	127.92	12,792
Becerras	120	61.5	7380
Total			115,509.3

Para el cálculo del volumen del biodigestor es necesario saber cuanto genera una vaca al día, tomando en cuenta el cuadro anterior se suma el total de excretas de las vacas en producción mas el total de excretas de vacas secas mas el total de excretas de becerros que es igual a la producción de estiércol diaria en el establo.

El siguiente cuadro representa los datos a calcular para el volumen del biodigestor

Cuadro No.9. Factores para calcular volumen

Relación	Cantidad en kilogramos (kg.)	Cantidad en metros cúbicos (m3)
Estiércol total del establo	27,327.4	27.3274
Agua / día relación	115,509.3	115.5093
Mezcla total agua estiércol / día	142,836.7	142.8367
Tiempo de retención 35 días	4,999,284.5	4,999.2845

Fórmula para el cálculo del volumen de la digestión de la biomasa

$$VB = TR \times [EP/\rho_{EP} + RA/\rho_A]$$

Donde:

VB es el volumen del biodigestor.

TR es el tiempo de retención.

EP es el estiércol producido.

ρ_{EP} es la densidad del estiércol.

RA es la cantidad de agua agregada en la mezcla según la relación estiércol agua.

ρ_A es la densidad del agua.

Aplicando la fórmula a los valores obtenidos y considerando una densidad del estiércol de 993 kg/m³ y de 1000 Kg. /m³ para el agua se obtiene el volumen de biodigestor, el cual es de 5006.0255 m³.

$$VD = 5006.0255 \text{ m}^3$$

5.3.2. Volumen del biogás

La capacidad requerida del biodigestor para la acumulación de la biomasa es 5006 m³, por lo tanto será necesario calcular cual es el volumen requerido para acumular el gas producido diariamente en el biodigestor.

Cuadro No.10. Volumen del biogás producido diariamente

	Kg (*)	Gen. Biogás bovinos(*)	H (=)	m ³ /kg total(*)	# vacas (=)	Vol. Por hato m ³ /kg
Vacas prod	650	0,04	14	36400	325	11,830, 000
Vacas seca	700	0,04	14	39200	76	2,979, 200
Vaquillas	520	0,04	14	29,120	100	2,912,000
Becerras	150	0,04	14	8,400	120	1, 008,000
VG						18,729, 200

5.3.3. Volumen total del biodigestor

$$VBD = VD + VG = 16,053,600 \text{ m}^3/\text{kg} + 5006.0255 \text{ m}^3 = 16,058,606.03 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Con la cantidad de animales disponibles se requiere un biodigestor con un volumen de 16,058,606.03 m³/Kg.

5.4. Capacidad de energía generada

El biodigestor genera 75kws/ hr, de las cuales está encendido 12 horas diarias, que genera 900 kwts / día. En un mes genera aproximadamente 27,900 kwts.

5.5. Inversión del biodigestor

El biodigestor fue financiado por varias dependencias como el Banco Mundial a través de la ONU, el gobierno estatal, y los mismos socios del establo, quedando de la siguiente forma.

ONU / BANCO MUNDIAL	—————>	\$ 1,000,000.00
Productores	—————>	\$ 1,000,000.00
Gobierno estatal	—————>	\$ 1,000,000.00

5.6. Estudio económico

Cuadro No. 11. Estudio económico

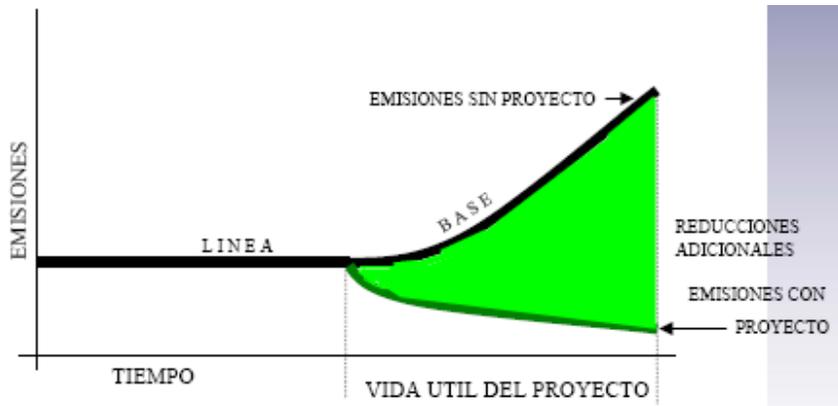
mantenimiento anual y operación	Cotización del biodigestor	\$ 3,000,000.00
	Funcionamiento y equipo de la planta	\$ 11,585.00
	Mano de obra y salario	\$ 48,000.00
	2 personas/mes \$ 4600	\$ 110,400.00 anuales
	Mantenimiento y repuesto	\$ (5 % inversión inicial)
	Total	\$ 3,308,400.00

Nota: la Mano de obra se refiere a la instalación de conducción de gas, motor generador de energía eléctrica para una distancia de 200 m.

5.7. Vida útil

La vida útil de este biodigestor y todo el equipo que lo conforma es de 15 años, y se prolonga de acuerdo al manejo y mantenimiento del mismo.

Fig. 5. Proyección de vida útil



Fuente: Empresa Agcert

5.8. Ingreso económico al establo

Cuadro No. 12. Ingreso económico al establo

	Mes (watts)	Watts (\$)	Mes (\$)	Bimestre (\$)
Energía generada	31,500 kwt	\$ 1.40	44,100	88,200

5.9. Comparación de pagos de luz antes y después del biodigestor

Cuadro No. 13. Ahorro neto de luz

Antes del biodigestor (\$)	Después del biodigestor (\$)	Ahorro neto (\$)
\$110,000.00 bimestre	\$ 21,800.00 bimestre	88,200.00 bimestre
\$660,000.00 anuales	\$130,800.00 anuales	529,200.00 anuales

5.10. Finanzas de los bonos de carbono

Cuadro No.14. Finanzas de los bonos de carbono

Bonos de carbono anuales	Precio en el mercado mundial (variable)	Total (dollar)	Precio dollar (variable)	Ingreso total por bonos de carbono
1800	8 dólares	14,400.00	\$ 11.15	\$160,560.00

Nota: En el caso específico de México y en particular del establo "Batopilas" el costo del Bono de Carbono se contabiliza en Cr'es Americanos con un precio de 8 dolares, y el precio globalizado de los mismos es de 18 €.

5.11. Ahorro de Agua

Durante el rehúso del agua en algunos procesos como es el flushing, y otros, se ahorran un 10% del total a pagar mensuales, esto es igual a \$ 5,000.00 /mes que equivale a \$ 60,000.00 anuales.

5.12. Fertilizante

Los cultivos contienen un 0% de fertilizante ya que el residuo sólido y líquido es incorporado a la labor agrícola, con este subproducto el establo se ahorra un 98% en costos para fertilizantes ya que este mejora las propiedades físicas y químicas del suelo y los cultivos. Los costos anuales que se realizaban en los mismos eran de \$500,000.00 a \$600,000.00 anuales, ahora con el subproducto de biodigestor se ahorran \$ 490,000.00 anuales.

5.13. Ahorro Financiero Extra

El rendimiento del forraje se ve reflejado ya que en el 2007 se cosecharon 45 toneladas de alfalfa y en el 2008 después de haberse incorporado biosólidos provenientes del biodigestor, el rendimiento aumento a 10 toneladas mas; puesto que nunca se había se cosechado tanto en el establo.

5.14. Ahorro total

Cuadro No. 15. Ahorro financiero absoluto

Ahorro total	\$ 529,200.00 anuales de luz	\$ 160,560.00 de Bonos de Carbono
Total		\$ 689,760.00
Inversión	\$ 3,000,000.00	Total
Mantenimiento	\$ 308,400.00	\$ 3,308,400.00
Inversión recuperada a 5 años		
		Recuperación
Primer año	\$ 689,760.00	\$ 689,760.00
Segundo año	\$ 689,760.00	\$ 1,379,520.00
Tercer año	\$ 689,760.00	\$ 2,069,280.00
Cuarto año	\$ 689,760.00	\$ 2,759,040.00
Quinto año	\$ 689,760.00	\$ 3,448,800.00
Sexto año	\$ 689,760.00	\$ 4,138,560.00
Séptimo año	\$ 689,760.00	\$ 4,828,320.00

Nota: Los ingresos que no se incluyeron en el ahorro financiero absoluto se tomaron en cuenta para otros gastos del establo como salario de los trabajadores, medicamento, eventos referentes al establo, etc.

VI. CONCLUSIONES

La construcción del biodigestor en el establo lechero “batopilas” resulta viable y sustentable, arrojando una cadena de beneficios tanto sociales, económicos y ambientales de acuerdo al estudio económico realizado en el establo así como en la población del ejido.

2.- La construcción del biodigestor en el establo lechero Batopilas resultó sustentable bajo las condiciones económicas actuales

3.- La construcción y operación del biodigestor en el establo lechero Batopilas resulta favorable a las condiciones socioeconómicas de la población ejidal.

VIII. RECOMENDACIONES

4.- El ejido Batopilas en sus empresas de trabajo llegó a la conclusión práctica de la frase “la materia no se crea ni se destruye solo se transforma”, de esta manera genera su energía eléctrica, calienta su agua y produce su fertilizante para la producción total de su forraje, le da una armonía productiva dentro de un proceso real de sustentabilidad al establo.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Alcayaga S., J. Glaría y L. Guerrero. 1999 (En línea) "Regulaciones De Temperatura y Potencial De Hidrógeno En Un Biodigestor Anaerobio De Lecho De Lodo Granular Expandido".URL: <http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=Regulaciones+de+temperatura+y+potencial+de+hidr%C3%B3geno%2BPDF&meta=> (consulta 23 de junio del 2008)
- Aguilar F. X. y R. Botero. 2006 "Los Beneficios Económicos Totales De La Producción De Biogás Utilizando Un Biodigestor De Polietileno De Bajo Costo." Revista De La Universidad De EART Tierra Tropical. Vol.2 No.1 Pág.15-25.
- Álvarez, J., M. Caneta y C. L. Moyano 2005 "Biomasa Y Biogás Cátedra: Máquinas Térmicas II." Pág.1-15.
- Arundel, A. 2006 "Biotecnología Agrícola: ¿Moda Mito O Realidad?" Rev. Of OECD. Global agri-food forum México city.
- Barana, M., M. and A. C. F. Ribas., 2003 (En línea) "Start-up Adjustment of a Plug-Flow Digester for Cassava Wastewater (Manipueira) Treatment" Scientia Agrícola Vol. 60, No.2. p.223-29.URL: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v60n2/15322.pdf> (Consulta 4 de noviembre 2007).
- Barbero. M. Á., 2004 (En línea) "El Desarrollo Sostenible Es El Nuevo Reto Para Las Zonas Rurales Del Siglo XXI." Revista De Desarrollo Rural. Pág. 9-12. URL: http://redrural.mapya.es/web/temas/publicaciones/revista32/AL32_Revista%20Completa.pdf. (Consulta 12 mayo 2008).

Brenner, K. 2007 "Facilitando La Transición Hacia Una Bioeconomía: Políticas Para Su Desarrollo." DTB ASSOCIATES, LLT. WASHINGTON, D.C.

Botero R., y T. R. Preston., 1987 "Biodigestor De Bajo Costo Para La Producción De Combustible Y Fertilizante a Partir De Excretas." manual para su instalación, operación y utilización.

Carbon F., 2008 (En línea) Carbon Finances at the World Bank: Methodology. URL: www.carbonfinance.org. (Consulta 8 abril de 2008).

Capulín G. J., R. Núñez-Escobar, J. D. Etchevers-Barra y G. A. Baca-Castillo. 2001 (En línea) "Evaluation of Liquid Cattle Manure Extract as a Plant Nutrition Input in Hydroponics." *Agrociencia* Vol. 35: 287-99. URL: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2001/may-jun/art-4.pdf> (consulta 12 junio 2008).

Castillo, E. F; Cristancho D. E; y V. Arellano, 2005. "Estudio De Las Condiciones De Operación Para La Digestión Anaerobia De Residuos Sólidos Urbanos" Pág.1-16.

Cervantes F. J.; J. Saldívar-Cabrales y J. F. Yescas., 2007 (En línea) "Estrategias Para El Aprovechamiento De Desechos Porcinos En La Agricultura." *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* Vol. 3 No. 1. Pág.3-12. URL:http://www.itson.mx/drn/Revista/Vol_3_2007/Art_13_Cervantes%20et%20al.pdf (Consulta 12 marzo 2008).

Chará O. J. D., 2003 "El Potencial De Las Excretas Porcinas Para Uso Múltiple Y Los Sistemas De Descontaminación Productiva" Centro Para La Investigación En Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV).

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2006. (En línea) "Reporte De Actividades De La Sener 2005 - En Materia De Cambio Climático".

URL:<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/oaxtepec/panel1-mich.pdf> (Consulta 8 diciembre 2007).

Comisión De Las Comunidades Europeas. 2007 (En línea) "Acción De Seguimiento Del Libro Verde Informe Sobre El Progreso De La Electricidad Renovable" Comunicación De La Comisión Al Consejo Y Al Parlamento Europeo Bruselas, Vol.10No.1. Pág.3-24. URL: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_action_plan2005_es.pdf (Consulta 8 de diciembre 2007).

Contreras L. M., L. López y O. Romero.2006. "Producción De Biogás Con Fines Energéticos. De Lo Histórico a Lo Estratégico." revista futuros 4 num.16.

Cornejo V. J., y B. Toro. 2001 (En línea) "Vulnerabilidad Adaptación Y Mitigación Al Cambio Climático En El Ecuador." MINISTERIO DEL AMBIENTE.1939.URL:<http://www.ambiente.gov.ec/WEB/Publicaciones/Archivos%20pdf/Compendio%20adaptacion%20y%20vulnerabilidad.pdf> (Consulta 3 febrero 2008)

Cortés, R. L. de C. y L. A. Barbosa. 2002 (En línea) "Effect of Temperature on the Performance of Biodigesters with Cow Manure." Revista agriambi Vol.2 no.1.Pág.1-5. URL: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n1/097.pdf>(consulta 22 de mayo 2008).

De los Ríos I. E., 2006 "La Bio-Economía ¿Es Factible? Potencial De La Bioenergía En México." Red Mexicana De Bioenergía.

Dimas L. José-Martínez, M. G. Robles, J. S. Serrato C., R. D. V. Cepeda y E. Martínez-Rubin. 2002 (En línea) "Yield of Transgenic Cotton Fertilized with Organic Manure and Pest Control." Terra Vol. 20: 321-327.URL: www.chapingo.mx/terra/contenido/20/3/art321-327.pdf (Consulta 13 de noviembre 2007).

Durant J., 1999 "Biotecnología Medioambiental." Federación Europea De Tecnología, segunda edición. Boletín No. 4. Pág.1-4.

Duncan, M. 2006 "El Futuro De Los Bioproductos "Todo Lo Viejo Es Nuevo Otra Vez". Presentación En El Foro Global Agroalimentario.

Falt, E. 2004. "Energía: Microenergía En Acción, Combustibles Del Futuro, Energía Infinita, Gol Verde, Estrella Solar: Edward Norton, Ahorros Energéticos." La revista del PNUMA para los jóvenes: 24.

Fernández A. 2006 "Relevancia De La Discusión Sobre El Tema De La Bioenergía."

Fischer, T., 2007 (En línea) "Biogas Production on the Farm: A Promising Technique for the Environment." The Protector. Pág.31-40. URL: <http://www.ccse-swcc.nb.ca/pressreleases/protectorENApr1107.PDF> (consulta 12 de marzo de 2008).

Flotats, X., E., Campos, y A. Bonmatí, 1997. "Aprovechamiento Energético De Residuos Ganaderos." Departamento De Medio Ambiente y Ciencias Del Suelo. Universidad de Lleiva 3er curso de ingeniería ambiental.

FSANZ. Food Standards Australia New Zealand. 2006. "Primary Production and Processing Standard for Dairy." DRAFT ASSESSMENT REPORT.1-200.

- García A., L. Mamen, M. J. Llosá, V. González, M^a J. Sanz, y J. L. Porcuna., 2006 (En línea) "Contribución De La Agricultura Ecológica a La Mitigación Del Cambio Climático En Comparación Con La Agricultura Convencional" Agroecología.VOL.1.75-88. URL:<http://www.agroeco.org/socla/pdfs/AgroecologiaVol1.pdf> (Consulta 13 de febrero 2008).
- González A. E. y R. Longoria. R., 2005 (En línea) "Variación Del Ph Durante Los Procesos Anaerobios De Emisión De Metano Por El Secado Y La Fermentación De Excretas De Ganado Bovino En El Centro De México." Revista Internacional de Contaminación Ambiental Vol. 1 No. 004. Pág.70-159.URL:<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/370/37021401.pdf> (Consulta 23 de marzo 2008).
- González V. G., E. V. Borges, y P. M. Pereda., 2002 "Inhibidores Del Proceso Anaerobio: Compuestos Utilizados En Porcicultura". Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal. Vol. 6. Pág.67-71.
- Greenpeace A., 2007 (En línea). "Criterios De Greenpeace Sobre Bioenergía" Greenpeace .URL:<http://www.greenpeace.org/espana/reports/criterios-de-greenpeace-sobre> (Consulta 12 de abril 2008).
- Hart, C., 2007 (En línea) "An Analysis of the Long-Run Impact of Ethanol Expansion on Agricultural Markets." Center for Agricultural and Rural DevelopmentIowaState.URL:<http://www.card.iastate.edu/publications/synopsis.aspx?id=1050> (Consulta 15 de marzo 2008).
- Herrera C. C., y J. M. Peralta A. 2005 "Valorización De Las Excretas Porcinas".
- Hidalgo M^a D., J. del Álamo, M. Hernández y R. Irusta. 2003 "Tratamiento De La Fracción Líquida Del Purín Porcino En Bio-Reactores Anaerobios De Lecho Fluidizado" Ingeniería Del Agua. Vol. 10. N^o 2 Pág. 127-33.

Hilbert, J. A. 2001 "Manual Para La Producción De Biogás" Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. Cautelar. Pág. 1-55.

Hilbert, J. y G. Eppel. 2007 (En línea) "Desafíos Y Estrategias Para Implementar La Digestión Anaerobia En Los Agroecosistemas." foro Global "methane to markets".URL:

<http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/energia/foro/final%20proceedings.pdf> (10 de febrero 2008).

Hjortshøj, D., 2004 (En línea) "Sustainable Energy News". INFORSE No. 45.05.

08.URL: <http://www.inforse.org/> (Consulta 23 de marzo 2008).

Humenik, J. F., 2006 (En línea) "A Protocol for Quantifying and Reporting the Performance of Anaerobic Digestion Systems for Livestock Manures" URL:

<http://www.epa.gov/agstar/pdf/protocol.pdf> (consulta: 03 de mayo 2008).

Ibarra C. R., 2007 (En línea) "Aumentan Males Por Contaminación." El Siglo DeTorreón.URL:[http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/83804.ecologia-](http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/83804.ecologia-aumentan-males-por-contaminacion.html)

[aumentan-males-por-contaminacion.html](http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/83804.ecologia-aumentan-males-por-contaminacion.html) (Consulta 11 de abril 2008).

INE., 2008. Cambio Climático. URL: <http://www.ine.gob.mx> (Consulta 12 febrero de 2008).

INEGI., 2005. Gobierno del Estado de Coahuila. "Enciclopedia De Los Municipios De México. Estado De Coahuila" URL: <http://www.inegi.gob.mx> (Consulta: 12 de abril de 2008).

Infantes, C. P., 2007. Diseño de Biodigestores. Revista Ergomix.

Jaworski, J., 2007 (En línea) "Regreso Al Futuro: Productos De La Bioeconomía presentación." Foro Global Agroalimentario. URL: <http://www.biorefinery.nl/iea-task/> (consulta 12 noviembre 2007).

Kaiser, F.2006 (En línea) "Producción De Biogás a Partir De Guano Animal: El Caso De Alemania." Revista Agronomía Vol.16. URL: http://www.uc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/16/tecnologia.pdf (Consulta 5 de marzo 2008).

Kowalzig, J. 2006 "New Energy Policy for Europe: Sticking with the Dirty Dinosaurs?" Friends of the Earth Europe.

Kruger, P. y D. Gunning. 2005. "El Metano a Los Mercados" eJOURNAL USA.

Ly J., y P. L. Domínguez. 2004 (En línea) "Biodigestores Como Componentes De Sistemas Agropecuarios Integrados" Pág. 34-43. URL: http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/Sistemas/pedro.htm (consulta 12 noviembre 2007).

López. M. J. D., y A. Avalos M., 2004 (En línea) "Efecto De Labranza Y Abono Orgánico Sobre Propiedades Del Suelo Y Rendimiento En Maíz" Agricultura Orgánica-Agrofaz Vol.4 No.2 pp. 537-542. URL: <http://www.ujed.com.mx/descargas/agrofaz/agrofaz-1.pdf> (consulta 20 de febrero 2008).

Luévano G. A., y N. E. Velásquez. G. 2001 "Ejemplo Singular En Los Agronegocios Estiércol Vacuno: De Problema Ambiental a Excelente Recurso." Revista Mexicana de Agronegocios Vol.9. Pp. pp.306 - 320.

Méndez C. M. D., R. T. Rascó, y D. V. Arreola., 2000 (En línea) "Evaluación Productiva De Efecto Ambiental Y De Problemas Relevantes En Explotaciones Lecheras De Pequeña Escala." Livestock Research for Rural Development. Vol. 12, No.1. URL: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/Irrd/Irrd12/1/manu121htm> (Consulta 12 de febrero 2008).

McDonnell, P., 2006 "Estímulos Y Limitantes De La Bioeconomía" terranovabio Consejo Nacional Agropecuario Foro Global Agroalimentario.

Morales C. F. y U. Moreno. 2005 (En línea) "Producción De Biogás Con Estiércol De Cuy" LEISA Revista de Agroecología. Pág. 22-24. URL: www.leisa-al.org.pe/sist/participantes (Consulta 23 de mayo 2008).

Nunnari G., L. Bertucco, S. Dorling, U. Schlink, y J. Ruuskanen. 2001 "Air Pollution Episodes Modelling Tools for Improved Smog-Management." Rev. Of Literature Review. Information Society Technologies. Vol.3. 1-29.

OCDE. 2004 (En línea) "Agriculture, Trade and the Environment the Dairy Sector" URL: www.oecd.org/rights/ (Consulta 8 de abril 2008).

Peralta A. J. M., (ed.). 2005. Recomendaciones Técnicas Para La Gestión Ambiental En El Manejo De Purines De La Explotación Porcina. Santiago/Chile. Colección libros INIA No 18.

Poletti R., y G. Martino., 2007(En línea) "Impegno Formativo Della Facolta' Di Agraria Nel Settore Delle Biomasse" pág. 101-113. URL: <http://www.agronomiforestaliumbria.it/public/Allegato%201%20alla%20Rivista%20Professione%20Territorio%20Atti%20Convegno%2021.02.2007.pdf> (Consulta 10 de mazo 2008).

Posso, F., 2002 "Energía Y Ambiente: Pasado, Presente Y Futuro. Parte Dos: Sistema Energético Basado En Energías Alternativas" Geoenseñanza No. 7 p.54-73.

Ramírez R. L. D., 2004 "Generación Eléctrica Por Medio De Biogás" IE-0502 Proyecto Eléctrico. Pág. 8-117.

Ramón J. A., L. F. Romero, y J. L. Simanca.,2006 (En línea) "Design of a Biodigestor of Garbage Can to Obtain Gas Methane and Fertilizers to Leave of the Fermentation of Excrements of Pig." Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. Vol. I. ISSN: 1900-9178 Pág.15-23. URL: http://portal.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_14209.pdf (Consulta 10 de marzo 2008).

Reyes G. P., C. C. Torres, S. S. Jiménez, y J. del C. B. Perdomo. 2000. Valorización De Desechos Orgánicos Con Tecnología Apropiada Para República Dominicana.

SAGARPA, F. 2007 (En línea) "La Energía Renovable En El Sector Agropecuario." revista "claridades agropecuarias" No 167. Pág. 1-60. URL: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/167/ca167.pdf> (Consulta 6 de noviembre 2007).

Sahlström, L., 2006 (En línea) "Recycled Biowaste as a Source of Infection" Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. URL: http://diss-epsilon.slu.se/archive/00001170/01/Avhandling_nr_070.2006_Tryckfil.pdf (Consulta 10 de noviembre 2007).

Salazar S. E., J. D. L. Martínez, R. Z. Tarango, C. V. Vázquez, M. F. Hernández, J. V. Silva., 2002 (En línea) "Uso Y Aprovechamiento Del Estiércol Como Alternativa Nutricional En Invernadero." URL: http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/uso_estiercol.pdf (Consulta 13 de noviembre 2007)

Seguel O. S., V. G. de Cortázar. y M. Casanova P., 2002 (En línea) "Variación En El Tiempo De Las Propiedades Físicas De Un Suelo Con Adición De Enmiendas Orgánicas." Agricultura Técnica (Chile) Vol. 63. No 3. Pág. 288-297. URL: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1237308> (Consulta 12 de marzo 2008)

SENER., 2006 (En línea) "Reporte De Actividades De La Sener 2005-2006 En Materia De Cambio Climático. Comisión Intersecretarial De Cambio Climático". URL: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/oaxtepec/panel1-mich.pdf> (Consulta 15 noviembre 2007).

Serrato S. R., Á. O. Arellano, J. D. López y S. B. Padilla., 2002 "Aplicación De Lavado Y Estiércol Para Recuperar Suelos Salinos En La Comarca Lagunera, México" Terra Vol. 20 pág. 329-336.

Silva, A. de A.; X. C. de A. Neves.; y M. M. Morales, 2004 (En línea) "Produtividade De Matéria Seca E Matéria Verde Da Brachiaria Brizantha Cv. Marandu Após Aplicação De Biofertilizante Bovino Obtido Por Biodigestão Anaeróbia Com E Sem O Uso De Caldo De Cana Como Aditivo." Revista Biologica Vol. 68. Pág. 335-411. URL: http://www.biologico.sp.gov.br/biologico/v68_supl_raib/335.PDF (Consulta 8 de marzo 2008).

Sistemas de Energía Internacional C. V, S.A. 2005 (En línea) "Aprovechamiento De Los Desechos Sólidos Municipales Para La Generación De Energía Eléctrica."(2005).URL:[http://www.conae.gob.](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2962/1/images/13_seisa.pdf)

[mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2962/1/images/13_seisa.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2962/1/images/13_seisa.pdf)
(Consulta 13 de noviembre 2007).

Soria F. M. de J., R. Ferrera-Cerrato, J. E. Barra, G. A. González, J. T. Santos, L. B. Gómez y G. P. Pérez., 2001."Producción De Biofertilizantes Mediante Biodigestión De Excreta Líquida De Cerdo." TERRA Vol. 19 No. 4. Pág. 353-362.

Sommer R., R. Wenger, y S. W. V. Dach., 2006 "Energía Sostenible – Mitigación De La Pobreza Rural." InfoResources Focus No 2/06. Pág. 3 - 16.

Souza F. C., J. de I. Júnior, y W. P. M. Ferreira. 2005. "Anaerobic Digestion Of Swine Wastes Under Effect Of Three Temperatures And Two Substratum Agitation Levels – Considerations About The Departure Phase". Eng. Agríc. Jaboticabal. V. 25, No.2, Pág.530-539.

Trindade C. S., 2000. "Beyond Petroleum: Towards a Biomass-Based Energy Future." UNEP Industry and Environment Vol. 23 No. 3.

Toepfer, K. I., F. Reichl y R. S. Mohammad, 2000 (En línea) "Sustainable Energy" UNEP Industry and Environment Vol.23 No.3. URL: http://www.uneptie.org/division/media/review/vol23no3/23-3_energy.pdf
(consulta 20 de marzo 2008).

Torres R., F. y E. Gómez. M., 2006 (En línea) "Energías Renovables Para El Desarrollo Sustentable En México" Pág. 3-91. URL: www.energia.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/FolletoERenMex-SENER-GTZ_ISBN.pdf (Consulta 3 noviembre 2007).

Torres E. y Ramírez M. J., 2006 "Generación Limpia De Energía Eléctrica." CINVESTAV. Pág. 4 -14.

UPME. Unidad De Planeación Minero Energética., 2003 "Formulación De Un Programa Básico De Normalización Para Aplicaciones De Energías Alternativas Y Difusión." Unión Temporal ICONTEC – AENE. Pág. 1 - 47.

Vargas L. y M. Otoya. B. 2003 (En línea)"La Biomasa En Costa Rica: Una Fuente Limpia Para La Generación De Electricidad." International Seminar on Bioenergy and Sustainable Rural Development. URL:<http://www.cinpe.una.ac.cr/investigacion/proyectos/ecomap/publicaciones/documentostrabajo/Biomasacr.pdf> (Consulta 15 enero 2008).

Vargas P., G. Carol., 2005. Estudio De Generación De Biogás A Partir De La Sinergia En Mezclas De Algas Marinas, Degradada En Un Sistema De Bioconversión Anaerobia De 2 Etapas. Universidad Católica De Temuco.

Wattiaux M., 2002 (En línea) "Sistema Digestivo De La Vaca" Guía Técnica Lechera Nutrición y Alimentación Capítulo 1: Sistema Digestivo de la Vaca. URL: <http://academicos.cualtos.udg.mx/DiplomadoCalidadLeche/data/tdg/SNUT/ch1.pdf> (Consulta 20 de noviembre 2007).

Wattiaux M. A., J. J. O. Colmenero, J. R. Blazek y M. Castellanos., 2000 "Análisis De La Eficiencia De La Utilización Del Nitrógeno Y Fósforo En Granjas Lecheras De Los Altos De Jalisco".

VIII. ANEXOS

8.1. GLOSARIO

Acondicionador de suelo. Sustancia, proceso, etc. Que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo

Antropogénico. De origen humano o derivado de la actividad del hombre.

Aerobio. Organismo que solo puede vivir en un medio con oxígeno, utilizando el mecanismo de respiración

Anaerobio. La bacteria anaeróbica es un tipo de bacteria que no vive ni se desarrolla en presencia de oxígeno.

Acetógenas. Es el proceso a través del cual bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía (por ejemplo, hidrógeno)

Biogás. Gas producido en el proceso de fermentación de los detritos orgánicos. Es una tecnología alternativa de bajo coste que disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y otras energías no renovables, por lo que es ideal para pequeñas comunidades rurales y de bajo poder adquisitivo.

Conducción hidráulica. Velocidad de desplazamiento del agua a través de un suelo por unidad de gradiente o potencial hidráulico.

Capacidad de Retención de agua disponible. Es el intervalo de humedad disponible que se define como el agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas.

Desnitrificación. Se lleva a cabo por bacterias anaerobias que viven sin oxígeno alimentándose de los compuestos nitrogenados.

Endógenas. Que se origina o nace en el interior, como la célula que se forma dentro de otra.

Energía renovable. Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, Recursos energéticos continuamente disponibles o renovables; por ejemplo: solar, eólica, mareas, biomasa, geotérmica, etc.

Flushing. Es la limpieza que se lleva a cabo por la presión del agua en el establo.

Gas de Efecto Invernadero. Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero.

Hidrolización. Descomposición química de un compuesto por acción del agua en productos más simples.

Lixiviado. Extracción de sustancias solubles de un material sólido, por agua que circula sobre él o a través de él. Este mecanismo produce en determinados casos la contaminación de los suelos o las aguas subterráneas.

Monopsonio. Mercado donde existe un solo comprador frente a un amplio número de vendedores.

Micotóxicas. Las micotóxicas son metabolitos secundarios (no los necesita la célula) tóxicos elaborados por hongos que puede hacer diferentes alteraciones y cuadros en hombre y animal.

Oligopolio. Es cuando encontramos un reducido número de empresas que controlan un determinado sector del mercado o producto. Las técnicas de oligopolio implican la reducción de la competencia, al no permitirse la aparición de otras empresas en ese sector.

Protozoos. Los protozoos, también llamados protozoarios, son organismos microscópicos, unicelulares eucarióticos; heterótrofos, generalmente.

Permafrost. Capa de hielo permanente situada a cierta profundidad en el suelo en las regiones cercanas a los polos.

Percolación. Flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo de agua en el suelo, bajo la acción de la gravedad.

Patógenos. Agente causante de enfermedades, en particular un microorganismo vivo, como una bacteria o un hongo.

Recurso bioenergético. Material orgánico que puede satisfacer la demanda de energías alternativas

Residuo. Que no son aprovechables y que por lo tanto debería ser tratada y dispuesta para evitar problemas sanitarios o ambientales.

Residuo líquido. Producto líquido del biodigestor con alto contenido en minerales

Simbiótico. Relación entre dos organismos, mediante la cual ambos se ven beneficiados.

Termitas. También conocidas como hormigas blancas pertenecen al orden de los isópteros, se caracterizan por ser insectos sociales y se alimentan de madera y otros materiales ricos en celulosa.

Volátiles. Que se evapora con facilidad.

Velocidad de infiltración. La capacidad de l suelo de absorber agua.

8.2. ABREVIATURAS

GEI. Gas de efecto invernadero

ER. Energía Renovable

OECD. Organization for Economic Co-Operation And Development

EPA. Agencia de protección ambiental

NO_x. Óxidos de nitrógeno

CO. Monóxido de carbono

CO₂. Bióxido de carbono

FSANZ. Food standards Australia New Zealand

CH₄. Metano

N₂O. Oxido nitroso

N. Nitrógeno

K. Potasio

SO₂. Dióxido de azufre

GLP. Gas Licuado de Petróleo

MO. Materia Orgánica

UPME. Unidad De Planeación Minero Energética

NH₃. Amoniacó

CL. Cloro

HCL. Acido clorhídrico

Hp. Caballos de fuerza

ONU. Organización De Las Naciones Unidas

8.3. FOTOGRAFÍAS CORRESPONDIENTE AL ESTABLO



ejido colectivo "Batopilas"



Sala de ordeña del ejido "Batopilas"

Establo del



Laguna de oxidación



Instalaciones del establo



Motor generador de energía eléctrica



Cultivos de alfalfa



Cultivos de maíz



Superficie de la cámara de biodigestión



Quemador del combustible



Area de desensolve

REPRESENTACIÓN DEL ESTABLO ANTES DEL BIODIGESTOR



REPRESENTACIÓN DEL ESTABLO DESPUES DEL BIODIGESTOR

