BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"

BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE GANADO GENERADOS EN TRASPATIO EN SAN LORENZO CHIAUTZINGO, PUEBLA

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ANA ROSA SÁNCHEZ CAMARILLO

Asesor de tesis:

Dr. Ricardo Pérez Avilés

Noviembre 2017

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"

BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE GANADO GENERADOS EN TRASPATIO EN SAN LORENZO CHIAUTZINGO, PUEBLA

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ANA ROSA SÁNCHEZ CAMARILLO

Comité tutoral:

Asesor y Tutor	Dr. Ricardo Pérez Avilés
Integrante Comité Tutoral	Dr. Ricardo Munguía Pérez
Integrante Comité Tutoral	Dra. Alia Méndez Albores
Integrante Comité Tutoral	Dra. Virginia Montiel Corona
Integrante Comité Tutoral	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Noviembre 2017

BUAP

C. ANA ROSA SÁNCHEZ CAMARILLO

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

Dr. Manuel Huerta Lara	*Presidente*
Dra. Alia Méndez Albores	*Secretario*
Da. María Elena Ramos Cassellis	*1er. Vocal*
Dra. Ricardo Munguía Pérez	*2do. Vocal*
Dr. J Santos Hernández Zepeda	*Suplente*

designado para la defensa de su tesis "*Biodigestión anaerobia de residuos de ganado generados en traspatio en San Lorenzo Chiautzingo, Puebla*" han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de usted.

A T E N T A M E N T E
"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"
H. PUEBLA DE Z., OCTUBRE 27 DE 2017

DR. RICARDO DARÍO PEÑA MORENO
SECRETARIO ACADÉMICO

RDPM/anma
c.c.p. Archivo
c.c.p. Minutario

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)
Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado durante mis estudios de Maestría.

AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por ser la institución que me permitió desarrollar mis estudios de Maestría.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación de Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del programa II. Investigación y posgrado. Aseguramiento de la calidad en el posgrado. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2013-2017.

Agradezco a los docentes del Posgrado en Ciencias Ambientales por lo que han aportado a mi formación académica.

A mi Director de tesis, Dr. Ricardo Pérez Avilés, por su apoyo y dedicación al desarrollo de este proyecto.

Al Departamento Universitario de Desarrollo Sustentable (DUDESU-BUAP), por el apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

A la familia Arroyo Pérez, por la participación activa en el desarrollo de esta tesis, su dedicación y apoyo fueron elementos relevantes para la conclusión de este proyecto.

A la Maestra Chantal Seoane, por su apoyo, dedicación, ejemplo de vocación y ser parte de la culminación de esta meta.

Al Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas y Centro de Química del Instituto de Ciencias-BUAP, por el apoyo brindado en la realización de análisis instrumental.

Al Dr. Roberto Portillo Reyes y al M. en C. Luis Enrique Cortés de Jesús, del Laboratorio de Catálisis de la Facultad de Cs. Químicas-BUAP, por las facilidades brindadas en la realización de análisis instrumental.

DEDICATORIA

A Dios

Por la vida, las oportunidades y por colocarme siempre en caminos donde encuentro experiencias y personas valiosas, gracias, porque todo ha sido para bien.

A mis padres:

Lic. Jaime Sánchez Bretón y Prof. Josefina Camarillo Hernández

Por el amor, el apoyo incondicional, por ser ejemplo de superación, ser mi motivación, por las alas, pero también por las raíces, mi eterno agradecimiento.

A mis hermanos:

Luis Guillermo, Rosana y Jaime

Por el apoyo, el cariño y ser ejemplo para mí, siempre agradeceré que la vida nos haya puesto en el mismo camino y poder compartir con ustedes a dos de las personas más importantes para mí.

A mi sobrino:

Luis Santiago Rendón Sánchez

Por tu llegada, por darnos tantas enseñanzas, por tu alegría, por ser ejemplo de fortaleza, siempre serás mi motivación.

A mi tía:

Dra. Ma. Amparo Esparza Flores

Por el cariño, por los momentos que hemos compartido, el apoyo y por motivarme siempre a alcanzar mis metas.

A mis mejores amigos de la Maestría:

Francisco Javier Jiménez Moreno, Gina García Saavedra, David Alberto Vargas Castro, Marco Ángel Simoni Berra y Ángel de Jesús Pimentel Aquino

Por recorrer juntos este viaje, por los excelentes momentos que hemos compartido y por todo lo que vendrá.

In Memoriam

A mi tío:

Lic. Dagoberto Sánchez Bretón

Por tu apoyo y cariño, mi respeto y admiración para tí, siempre fuiste y serás ejemplo de perseverancia y vocación, gracias por todo.

A mis abuelos:

Guillermina Bretón Flores, Luis Sánchez García, Ana María Hernández Pérez y Alejandro Camarillo Hernández

Mi eterno agradecimiento.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN 1
JUSTIFICACIÓN 4
III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 5
Pregunta de Investigación 5
IV. HIPÓTESIS 5
V. OBJETIVOS 5
Objetivo general 5
Objetivos específicos 5
VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 6
Localización de San Lorenzo Chiautzingo en el Estado de Puebla 6
Fase de campo 6
Fase de laboratorio 7
Fase documental 7
Tipo de investigación 8
CAPITULO I CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL Y ELEMENTOS TEÓRICOS DE LA BIODIGESTIÓN 9
1.1 Condiciones de vida, sustentabilidad y cambio climático como contexto 9
1.2. Elementos teóricos que acompañan la ecotecnia 16
1.2.1 Ecotecnología como alternativa de desarrollo en áreas rurales 16
1.2.2 Legislación aplicable a la biodigestión anaerobia 22
1.2.3 Biodigestión anaerobia y biogás 25
1.2.5 Desarrollo e investigación de la biodigestión anaerobia en México 28
CAPITULO II ZONA DE APLICACIÓN DEL PROYECTO: SAN LORENZO CHIAUTZINGO, PUEBLA. 30
2.1 El interés en el municipio de San Lorenzo Chiautzingo 30
2.2 Algunas características del municipio de San Lorenzo Chiautzingo 30
2.2.1 Localización de San Lorenzo Chiautzingo en el Estado de Puebla 31
2.2.3. Condiciones sociales 33
2.2.4 Actividades económicas 34
2.3 San Lorenzo Chiautzingo una zona campesina 35

2.3.1 La visión campesina general 35
2.3.2 La estrategia de los traspatios en lo campesino 36
2.4 Traspatio de la familia Arroyo Pérez 37
2.4.1 Componente animal 38
2.4.2 Componente agrícola 39
2.4.3 Componente social 40
2.4.4. Componente ecotecnológico 42
CAPITULO III LOS BIODIGESTORES Y SU INCORPORACION AL TRASPATIO CAMPESINO 43
3.1 Biodigestión anaerobia aplicada en zonas rurales 43
3.2 Principales biodigestores en el medio rural 46
3.3 Consideraciones sobre ventajas 49
3.4 Estimación de costos 50
3.5 Biodigestor seleccionado 50
3.5.2 Criterios de selección basados en las tres dimensiones de la sustentabilidad 51
Dimensión ecológica 51
Dimensión social 52
Dimensión económica 53
3.5.3 Materiales y métodos 54
3.5.4 Cálculos necesarios para el dimensionamiento del biodigestor 56
3.5.5 Diagrama 57
3.6 La construcción del biodigestor en San Lorenzo 57
3.6.1 Pasos para la construcción de un biodigestor modelo Taiwán 57
3.7 Algunos problemas enfrentados y logros no esperados en el proceso de aplicación de la ecotecnia 63
3.7.1 Problemas 63
3.7.2 Logros 64
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 65
4.1 Caracterización del traspatio 65
4.1.1 Caracterización de la alimentación del componente animal 66
4.2 Alimentación del biodigestor y beneficios obtenidos 68
4.2.1. Producción de biol 68

4.2.2. Caracterización del biol obtenido 69
4.2.3 Rendimiento de biol 71
4.2.4 Producción de biogás 72
4.2.5 Productividad de biogás 73
4.3 Costo del biodigestor y su construcción 76
4.4 Elementos sociales que permitieron la adopción de la ecotecnia representada por el biodigestor 77
CAPITULO V CONCLUSIONES 78
RECOMENDACIONES 80
LITERATURA CITADA 81

Índice de Figuras

Figura 1. Insatisfacción de necesidades básicas a nivel mundial 10
Figura 2. Necesidades humanas básicas 10
Figura 3. Pobreza en el estado de Puebla 12
Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible 13
Figura 5. Generación de CO_2 equivalente en México por sector 15
Figura 6. Beneficios que brindan distintas ecotecnias 20
Figura 7. Ejemplos de ecotecnias para la satisfacción de cuatro necesidades básicas (Nótese que algunas ayudan a satisfacer más de una necesidad) 21
Figura 8. Biodigestores instalados en nuestro país por estado. 24
Figura 9. Proceso general de degradación anaerobia y las diversas conversiones que ocurren durante el proceso 26
Figura 10. Parcela de Cempasúchil (Tagetes erecta) perteneciente a la familia productora 30
Figura 11. Localización de San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, 2015. 31
Figura 12. Distribución de climas en el estado de Puebla 33
Figura 13. Diagrama de los componentes e interacciones de una granja ecológica integral 38
Figura 14. Producción de carne de conejo a), Ganado ovino b), Ganado bovino c), Aves de corral d) Ganado porcino e). 39
Figura 15. Producción de calabaza a) (Curcubita maxima), Parcela de chile poblano b)**,** Chile poblano (Capsicum annum), chile loco y chile de árbol c), Deshidratador de chile d), Producción de jitomate en invernadero e) (Solanum lycopersicum), Flor de Cempasúchil f) (Tagetes erecta). 40
Figura 16. Ciclo productivo en el traspatio campesino 44
Figura 17. Área asignada para la instalación del biodigestor 51
Figura 18. Preparación de la fosa para la colocación del biodigestor a), Polietileno tubular b) 58
Figura 19. Colocación doble del polietileno a), Materiales adaptados para la salida de biogás b). 59
Figura 20. Preparación del polietileno para la salida de biogás a), Adaptación de la salida de biogás b). 59
Figura 21. Preparación de la fosa a), Biodigestor y bolsa de almacenamiento de biogás b) 60
Figura 22. Cerca perimetral del biodigestor a), Biodigestor, soportes y cerca perimetral b) 60
Figura 23. Entrada para alimentación del biodigestor a) Bolsa de almacenamiento de biogás b) 61
Figura 24. Válvula de seguridad y llaves de paso a), Biodigestor operando con alimentación constante b) 62
Figura 25. Biol obtenido 68
Figura 26. Plántulas de chile a), Fertilización de chile en invernadero b) 69

Figura 27. Transporte de plántulas de chile a parcela a), Fertilización incorporando biol en parcela b). 71
Figura 28. Reemplazo de bolsa de almacenamiento a), Producción de biogás b) 73
Figura 29. Dinámica de producción de biogás, Chiautzingo, 2017 74
Figura 30. Prueba de la flama a), Parrilla instalada para uso de biogás b) 75

Índice de tablas

Tabla 1. Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos. 27
Tabla 2. Características generales del biogás. 28
Tabla 3. Costo del material utilizado para construir un biodigestor Tipo Taiwán .. 54
Tabla 4. Caracterización del componente animal existente en el traspatio y la cantidad de residuos generados por día 66
Tabla 5. Resultados de los análisis químicos realizados a muestras de biol, comparados con biol Casablanca 70
Tabla 6. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaerobia 72

Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales instituciones dedicadas al desarrollo e implementación de la biodigestión anaerobia en México 29
Cuadro 2. Características socioeconómicas del municipio 31
Cuadro 3. Características climáticas, precipitación y tipo de suelo 32
Cuadro 4. Características de la población del municipio, 2010 33
Cuadro 5. Población en pobreza y carencias sociales en el municipio, 2010 34
Cuadro 6.- Actividades económicas predominantes en el municipio 34
Cuadro 7. Tipos de biodigestores: características y modelo 47
Cuadro 8. Otras características (ventajas y desventajas) de los biodigestores 48
Cuadro 9. Comparación de modelos de biodigestores 49
Cuadro 10. Comparación con biodigestores comerciales (escala doméstica) 50
Cuadro 11. Indicadores de sustentabilidad de la ecotecnia por dimensión 55
Cuadro 12. Caracterización de la alimentación suministrada al ganado bovino ... 67
Cuadro 13. Caracterización de la alimentación suministrada al ganado porcino .. 67

RESUMEN

En el presente trabajo, se probó el desempeño de un biodigestor de bajo costo dentro de un traspatio para dar manejo a excretas de ganado. El impacto ambiental ocasionado por excretas de ganado depende de la especie pecuaria, tipo de alimentación suministrada y el manejo de estiércol. El biodigestor construido fue el modelo Taiwán debido a su accesibilidad en cuanto a precio y adquisición de material, fue operado con participación de la familia involucrada en el proyecto. Los objetivos fueron: Caracterizar el traspatio y así conocer la cantidad de residuos generados diariamente, para su incorporación como alimentación del biodigestor, se caracterizó la alimentación del ganado para determinar previamente inhibidores del proceso, tales como: medicamentos/complementos. Por medio de la construcción de indicadores de sustentabilidad se muestra una aproximación de los beneficios de la ecotecnia. Finalmente se evaluó la producción de biogás y biol por medio de su inclusión en procesos del traspatio, de esta manera se cuantificaron los beneficios y se evaluaron elementos sociales que permitieron la adopción de la ecotecnia. Los resultados obtenidos determinan la productividad del traspatio, el componente vegetal es diverso a lo largo del año, el componente animal consta de 151 animales mismos que producen132.5 kg/día de excreta. En la alimentación que los productores refirieron suministrar al ganado reincorporan en su totalidad remanentes agrícolas, por otro lado, los productores refirieron no se suministrar antibióticos al ganado, por lo tanto, no se detectaron posibles inhibidores del proceso. El biol se obtuvo a los 45 días de operación, utilizándose semanalmente para fertilizar 350 000 plántulas de chile, principal producto obtenido por esta familia. La producción de biogás fue a los 78 días de operación, esta fue intermitente, las variaciones de temperatura, influyeron en la baja productividad de biogás, con un rendimiento13% menor que el reportado en literatura. El biol fue el producto que influyó en la continuidad del proyecto al incorporarse a fertilización tanto en invernadero como en parcela, los costos por este concepto disminuyeron 50%.

Palabras clave: *biogás, biol, ecotecnia, sustentabilidad, traspatio.*

I. INTRODUCCIÓN

El inicio y expansión del desarrollo impulsado por la Revolución Industrial a partir de la segunda mitad del siglo XVIII generó grandes avances en economía, medicina y tecnología, sin embargo, dicho crecimiento no ha sido equitativo, agrandando brechas entre el sur global y los países industrializados, es decir, a nivel mundial aún no han sido totalmente cubiertas las necesidades básicas. Además de la sobreexplotación de recursos que dicho modelo ha significado y se le menciona como una de las principales causas del deterioro ambiental actual, como consecuencia enfrentamos dos problemáticas ambientales globales: cambio climático y pérdida de biodiversidad. (Vitousek, 1997, Citado por: Tomassino, *et al*, 2005). Específicamente, Schumacher, 1973, partió de una crítica al sistema económico, caracterizándolo como insostenible, y señaló las debilidades de la tecnología convencional (centralizada, dependiente de combustibles fósiles, altamente contaminante y costosa) así como su nula adaptación a escalas pequeñas de producción y fuentes locales de materiales, uso ineficiente y no calificado de la mano de obra, además de la necesidad de importación y selección de maquinaria y tecnología inadecuada a las condiciones socio-culturales locales.

Por otro lado, las zonas rurales también contribuyen a la explotación de recursos, siendo la causa la manutención de sus habitantes y adicionalmente los de las ciudades, las actividades económicas predominantes en dichas zonas también contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, una alternativa de desarrollo es la ecotecnología, la cual, de acuerdo a Ortiz, *et al*, 2014, es la aplicación de dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente, además de brindar beneficios económicos y sociales. Por medio de las cuales se logra cubrir necesidades en zonas rurales y/o de alta marginación, sin que el aspecto económico se convierta en una limitante para su adquisición.

La biodigestión anaerobia es la ecotecnia propuesta en esta tesis, debido a que representa una alternativa para cubrir diversas necesidades básicas, siendo sus principales aplicaciones en generación de energía, que puede ser transformada en energía calorífica, mecánica o eléctrica y en producción de alimentos, además de la

disminución de riesgos a la salud humana y afectaciones al ambiente, tanto en suelo, agua y aire, por medio del manejo de los residuos agropecuarios. Es por esto que se evaluó la aplicación de este proceso en condiciones reales en un espacio productivo, específicamente en un traspatio campesino el cual cuenta con producción para venta y autoconsumo y se ubica en el municipio de San Lorenzo Chiautzingo, zona rural del estado de Puebla, en él, los actores sociales son pluriactivos y al contar con un espacio diverso, han integrado ecotecnias, previas al biodigestor, con la finalidad de mejorar la calidad de sus procesos, aumentar sus rendimientos y llevar a cabo un reciclaje de los recursos. La zona de aplicación del proyecto se considera con índice de marginación medio, además de que en el municipio las actividades predominantes son la agricultura, ganadería y en menor medida que las anteriores la floricultura. Un aspecto importante a abordar es el manejo de los residuos que se derivan de los procesos antes mencionados, siendo la excreta del ganado un emisor de gases de efecto invernadero cuando su disposición final es inadecuada en México la ganadería y la agricultura emiten el 11.9% de CO_2 eq. (SEMARNAT, 2015). A nivel mundial, el 37% del metano antropogénico proviene de la digestión entérica de los rumiantes, principal gas de efecto invernadero (GEI), el cual tiene particularmente un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor al del CO_2 (Steinfeld., *et al*, 2009).

La excreta de ganado, se produce de manera constante, por lo tanto, es importante disminuir impactos debido a emisiones a la atmósfera. Mediante el biogás se puede lograr un 50 % de reducción de las emisiones en los climas templados para estiércoles que de otra manera se almacenarían de forma líquida y, por lo tanto, tendrían emisiones de metano relativamente altas (IPCC, 1997, Citado por Steinfeld, *et al*, 2009).

El Desarrollo Sustentable se ha promovido desde sus inicios como una alternativa al modelo de desarrollo económico y tecnológico dominante, el cual es identificado como el gran causante de deterioro ambiental mundial, justificado por la solución a problemas de alimentación, vivienda y empleo, mismo que se debe al exponencial aumento de población que actualmente es mayor a 7 mil millones de habitantes (Population city, 2017). En este sentido, (Uchida, 2005, Citado por Ortiz, *et al*, 2015).

Menciona que para lograr el desarrollo sustentable es imprescindible que las nuevas tecnologías sean difundidas ajustándolas a la diversidad ambiental y respetando los valores intrínsecos de las sociedades locales. Sin embargo, el cuidado del ambiente y el apoyo al desarrollo social son ventajas que fortalecen la búsqueda y expansión de las ecotecnias. La aplicación de ecotecnias ayuda a mejorar las condiciones de vida de los usuarios, siendo sus beneficios de carácter económico, la reducción de riesgos a la salud y la generación de beneficios locales y globales.

JUSTIFICACIÓN

El volumen de generación anual promedio de excretas de ganado porcino y bovino lechero es de 66.7 miles de toneladas al año (SEMARNAT, s. f.) en el municipio de San Lorenzo Chiautzingo Puebla, el 80% de la población se dedica a actividades agropecuarias y por esta razón se requiere manejo adecuado y disposición final de los residuos, en el traspatio donde se llevó a cabo el proyecto diariamente se genera residuo proveniente del componente animal del traspatio, mismo que puede ser convertido en energía y biofertilizante. Además de la reducción de problemas de contaminación, ya que la acumulación de excretas en los traspatios generan malos olores y pueden ser peligrosos debido a su toxicidad, los lixiviados generados por descomposición pueden contaminar los suelos y cuerpos de agua, provocando su deterioro y representando un riesgo para la salud humana y de otros organismos, a su vez, los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que son vectores de enfermedades como: peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue y fiebre amarilla, entre otras (SEMARNAT, s.f.). San Lorenzo Chiautzingo es un municipio con grado de marginación medio, en la zona prevalece el uso de leña para cubrir necesidades energéticas debido a la disponibilidad del recurso en la región y al alto precio de los combustibles fósiles, sin embargo, el uso cotidiano de leña afecta no solo ecosistemas por sobreexplotación forestal, también genera afectaciones a la salud, la cocción de alimentos es un proceso en el que con mayor frecuencia mujeres y niños tienen contacto con emisiones generadas por combustión de leña, mismas que son causantes de EPOC (enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, por ejemplo, bronquitis crónica o enfisema), problemas de irritación en ojos y cataratas; además, el aumento de riesgo de neumonía y otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores, entre otras, (Naranjo F., 2010).

En este sentido la biodigestión anaerobia es una alternativa para la reducción de la problemática anteriormente descrita, generando beneficios en las tres dimensiones de la sustentabilidad.

III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Pregunta de Investigación

¿Existen en San Lorenzo Chiautzingo las condiciones para obtener beneficios derivados de biodigestión anaerobia de residuos de ganado?

IV. HIPÓTESIS

A partir de la aplicación de biodigestión anaerobia en traspatio se obtienen beneficios en las tres dimensiones de la sustentabilidad.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la producción de biogás y biofertilizante por medio de biodigestión anaerobia a partir de excreta de ganado generado en un traspatio ubicado en San Lorenzo Chiautzingo, Puebla.

Objetivos específicos

Caracterizar el traspatio para conocer la cantidad de residuos que se genera diariamente y determinar su viabilidad como alimentación del biodigestor.

Establecer criterios para la elección de biodigestor a incorporar al traspatio por medio de la comparación de biodigestores comerciales y biodigestores de bajo costo.

Evaluar la producción de biogás y biol por medio de su caracterización, así como su incorporación a procesos productivos cotidianos.

Cuantificar los beneficios que la aplicación de esta tecnología genera a partir de los productos con valor agregado obtenidos.

Evaluar los elementos sociales que permiten la adopción de la ecotecnia representada por el biodigestor.

VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Localización de San Lorenzo Chiautzingo en el Estado de Puebla

El municipio de Chiautzingo se localiza en la parte Centro Oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19º 10'24" y 19º 13'42" de latitud norte y los meridianos 98º 26'24" y 98º 33´36" de longitud occidental y se encuentra a 2 356 m.s.n.m.

El municipio, colinda al Norte con el municipio de San Felipe Teotlalcingo, al Sur y al Este con el municipio de Huejotzingo y al Oeste con los municipios de San Felipe Teotlalcingo y Huejotzingo (INAFED, 2015).

La investigación constó de tres fases que se describen a continuación:

Fase de campo

La caracterización del traspatio se realizó con el objetivo de conocer el componente animal y vegetal y de esta manera determinar la cantidad de generación de excretas provenientes del ganado y de este manera definir cuáles se utilizarían como alimentación del biodigestor, la caracterización se realizó por medio de observación directa, observación documentada y entrevista.

La caracterización de la alimentación del componente animal se realizó para identificar de manera previa la presencia de posibles inhibidores, los cuales pueden ser medicamentos, principalmente antibióticos, complementos o sustancias como desinfectantes, esta se determinó por observación directa, observación documentada y entrevista.

La construcción del biodigestor se realizó en dos días, con participación de la familia Arroyo Pérez siguiendo especificaciones documentales, mismas que en la práctica deben modificarse y adaptarse a las condiciones del lugar.

Fase de laboratorio

Fue necesario realizar análisis de laboratorio como parte del monitoreo de las condiciones del biodigestor y con el objetivo de detectar previamente algún indicio de inhibición del proceso, además era importante conocer la cantidad de macroelementos del biol.

La determinación de pH en muestras extraídas de biodigestor y en muestras de biol se realizó de acuerdo a la NMX-AA-008-SCFI-2011 por medio de un potenciómetro marca Oakton modelo WD-35419-10 previamente calibrado.

La conductividad eléctrica se determinó de acuerdo a la NMX-AA-093-SCFI-2000, por medio de un conductímetro marca Hanna, modelo Hi8733n.

La determinación de Ca, Mg, Na y K se realizó por la técnica de adsorción atómica en un equipo marca Varian modelo SpectrA 55B.

El P se determinó por colorimetría en un equipo marca Spectronic modelo 20D.

El N fue determinado por semimicro Kjedahl en un destilador Kjedahl marca SEV prendo modelo DEK-1.

Fase documental

La comparación de modelos de biodigestores se realizó con la finalidad de apoyar la selección del biodigestor a construir, siendo los principales criterios, los productos que se obtienen, la escala de uso, vida útil de los materiales utilizados y la facilidad de instalación.

La estimación de costos se realizó por medio de comparación entre biodigestores comerciales y un modelo construido.

Los criterios de selección se basaron en las tres dimensiones de la sustentabilidad, por lo tanto, se formularon indicadores básicos que muestran la bondad de la ecotecnia, mismos que sirvieron de guía para el trabajo.

El dimensionamiento del biodigestor se realizó de acuerdo a las necesidades de la familia involucrada, el espacio disponible y la cantidad de alimentación que se podía establecer basado en la generación diaria de excreta y su necesidad de manejo.

Tipo de investigación

El tipo de investigación abordada fue descriptiva, que de acuerdo a Hernández, 2010, en este tipo de estudios se busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice y exploratoria ya que este tipo de investigación nos ayuda a obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras o sugerir afirmaciones y postulados.

CAPITULO I CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL Y ELEMENTOS TEÓRICOS DE LA BIODIGESTIÓN

"*No acaban con la pobreza, no nos sacan del subdesarrollo, ni socializan los medios de producción y de cambio… Pero quizá desencadenen la alegría de hacer y la traduzcan en actos.*"
Eduardo Galeano[1]

1.1 Condiciones de vida, sustentabilidad y cambio climático como contexto

El acelerado crecimiento poblacional, el ritmo de producción y el consumo global han generado desequilibrios ambientales, mismos que limitan nuestro acceso en el futuro a los servicios ecosistémicos. La población mundial actual es mayor a siete mil millones de habitantes, dicha cifra continua en ascenso y se proyecta que para 2050 superará los 9 mil millones de habitantes (Population city, 2017).

Este crecimiento poblacional ha impulsado a la humanidad a generar avances en tecnología, medicina y economía, pero tal desarrollo no ha sido equitativo. La injusticia social y ambiental ha aumentado entre países y también al interior de ellos; la insatisfacción de necesidades básicas es todavía común para el Sur Global.

> Actualmente alrededor del 18% de la población mundial no tiene acceso a la electricidad, el 43% no cuenta con tecnologías adecuadas para la cocción de alimentos (U.N., 2012, Citado por Ortiz, *et al,* 2015); en áreas rurales, más de la mitad de la población no tiene acceso a tecnologías adecuadas de saneamiento (U.N., 2011) y aproximadamente el 22% carece de fuentes adecuadas de agua potable (U.N., 2011, Citado por: Ortiz, *et al*, 2015). (Ver figura 1).

[1] Tomado de Fressoli M. 2014

Figura 1. Insatisfacción de necesidades básicas a nivel mundial
Fuente: Elaboración propia a partir de U.N., 2011-2012, Citado por: Ortiz, *et al*, 2015.

Para llevar a cabo nuestras actividades cotidianas y gozar de calidad de vida es necesario que nuestras necesidades básicas estén cubiertas, estas son relevantes para nuestro desarrollo, satisfacción y salud. Las cinco necesidades básicas o "ejes fundamentales mínimos" para el bienestar humano son: alimentación, vivienda, agua, energía y manejo de residuos. (Ver Fig. 2).

> Las tres primeras necesidades aparecen en cualquier aproximación al problema. La energía debe ser otro eje fundamental de análisis ya que se requiere para resolver cualquiera de las otras necesidades básicas. Sin embargo, igual que cualquier otro recurso, debe ser utilizado con moderación y eficiencia para evitar problemas ambientales y a la salud humana (Ortiz, *et al*, 2014).

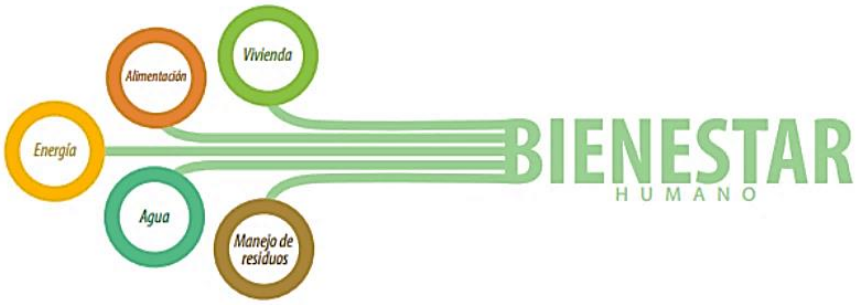


Figura 2. Necesidades humanas básicas
Fuente: Ortiz, *et al*., 2014

Aunque la industrialización, fenómeno eminentemente urbano, se reconoce como la principal causa de las modificaciones a los ecosistemas, es necesario considerar también a las áreas rurales, ya que las actividades que se desarrollan en estas zonas implican transformaciones en los ecosistemas como parte de la manutención de sus habitantes y los de las áreas urbanas.

> La población rural, vive por lo general del uso y manejo directo de los ecosistemas, por ello el impacto ambiental de los asentamientos rurales deriva sobre todo de los procesos productivos promovidos por los actores locales, más que de los asentamientos mismos. La economía rural es dual: se debe distinguir entre una producción comercial especializada y una producción para la subsistencia basada en el aprovechamiento de una amplia gama de especies silvestres y en el cultivo de una gran diversidad de plantas (SEMARNAT, 2010: s. p).

La fuerte dependencia que presenta la humanidad de los recursos que nos proveen los ecosistemas, es la principal razón para mejorar las condiciones de aprovechamiento de los mismos, como alternativa para subsanar o aminorar impactos al ambiente.

La interrelación pobreza, problemas sociales y problemas ambientales, se presenta con mayor frecuencia en países en vías de desarrollo, siendo una de las principales consecuencias derivadas de la pobreza, la desigualdad social. Por lo tanto, la riqueza es un beneficio solo para minorías, de acuerdo a OXFAM (2017), tan solo 8 personas poseen la misma riqueza que la mitad más pobre de la población mundial (3,600 millones de personas).

A continuación, se presentan los datos de pobreza, pobreza moderada y pobreza extrema en el Estado de Puebla para los años 2010, 2012 y 2014. (Ver figura 3)

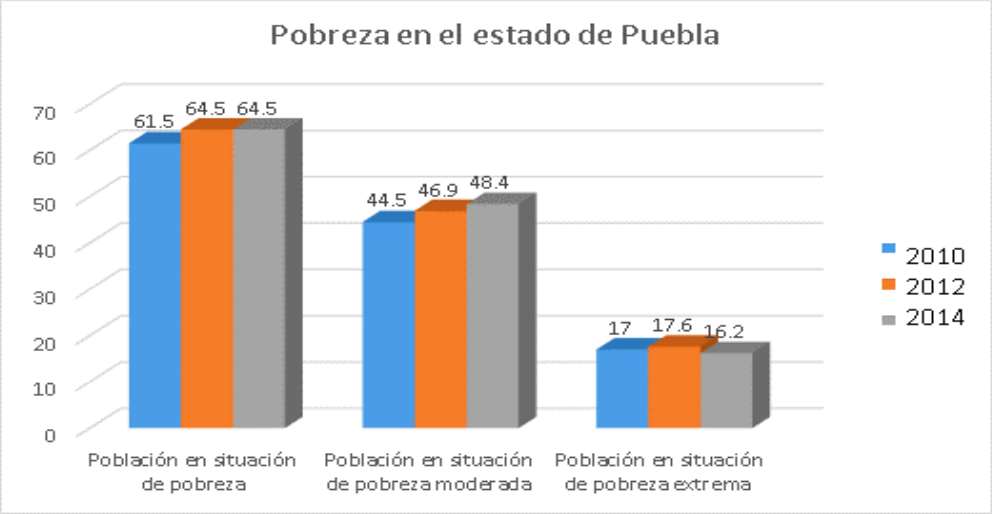


Figura 3. Pobreza en el estado de Puebla
Fuente: Elaboración propia a partir de CONEVAL, 2014

Por definición del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, s.f.), en su glosario (s.p.), una persona se

> Encuentra en situación de pobreza cuando tiene al menos una carencia social (en los seis indicadores de rezago educativo, acceso a servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación) y su ingreso es insuficiente para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias. Y, una persona se encuentra en situación de pobreza extrema cuando tiene tres o más carencias, de seis posibles, dentro del Índice de Privación Social y que, además, se encuentra por debajo de la línea de bienestar mínimo. Las personas en esta situación disponen de un ingreso tan bajo que, aun si lo dedicasen por completo a la adquisición de alimentos, no podrían adquirir los nutrientes necesarios para tener una vida sana.

A nivel mundial, con el objetivo de reducir la desigualdad social y sus consecuencias, se han establecido 17 objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales son un llamado universal a la adopción de medidas que tienen como meta poner fin a la pobreza, proteger al planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad,

siendo estos objetivos interrelacionados, es importante la contribución de los gobiernos, sector privado y sociedad civil (PNUD, 2015) (Ver figura 4).

Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible
Fuente: PNUD, 2015.

El objetivo 2, llamado “hambre cero”, el 7 “Energía asequible y no contaminante” y el 13 llamado “Acción por el clima”, enmarcan las metas de esta tesis, ya que se desarrolla un biodigestor, ecotecnia aplicada en un traspatio en contexto rural del estado de Puebla.

El objetivo 2 establece como finalidad: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible, en datos de ONU, 2016, en América Latina y el Caribe para 2015, 34,3 millones de personas padecían hambre, un mundo con hambre cero, puede influir positivamente en nuestra economía, así como en la salud, la educación, la igualdad y el desarrollo social generales. Esto impulsado por la incorporación de prácticas sostenibles en agricultura, en este sentido la biodigestión incide por medio de la obtención de un biofertilizante que significa la reducción de costos de producción y la mejora de los rendimientos y productos obtenidos.

En el objetivo 7 se menciona que “La energía es central para casi todos los grandes desafíos y oportunidades a los que hace frente el mundo actualmente. Ya sea para los empleos, la seguridad, el cambio climático, la producción de alimentos o para aumentar los ingresos, el acceso a la energía para todos es esencial. La energía

sostenible es una oportunidad – que transforma vidas, economías y el planeta" (ONU, 2016).

Además, "Desde 2011 y gracias a los esfuerzos por promover la energía limpia, más de un 20 por ciento de la energía mundial es generada por fuentes renovables. Sin embargo, una de cada cinco personas aún no tiene acceso a la electricidad. Debido a que la demanda sigue en aumento, es preciso un incremento considerable en la producción de energía renovable en todo el mundo" (PNUD, 2015).

La biodigestión y el biogás se ubican como energía limpia, respondiendo a este objetivo. Pero además se genera la posibilidad de acercar energía a zonas rurales reduciendo así el problema de acceso a este servicio, sumando la mitigación de gases de efecto invernadero y reducción de riesgos a la salud de la población debido a la acumulación de residuos.

El objetivo 13 plantea que "El cambio de actitudes se acelera a medida que más personas están recurriendo a la energía renovable y a otras soluciones para reducir las emisiones. Pero el cambio climático es un reto global que no respeta las fronteras nacionales. Las emisiones en un punto del planeta afectan a otros lugares lejanos" (ONU, 2016). De continuar con esta tendencia de emisiones de GEI se verán afectados ecosistemas y poblaciones.

De acuerdo con Tomassino, *et al*, (2005):

> Por cambio climático se entiende una serie de transformaciones en el clima de la Tierra que impactan significativamente los ecosistemas, la vida en general y la vida humana en particular. Se trata de uno de los principales problemas ambientales contemporáneos, junto a la pérdida de la biodiversidad y el "agujero" de la capa de ozono. Aunque los problemas están interrelacionados y ejercen sinergias entre ellos, se atribuye al aumento de la temperatura provocado por el ser humano la principal causa del cambio climático.

Nuestras principales actividades económicas generan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tanto en zonas urbanas como rurales. A continuación, se presenta el porcentaje de generación de CO_2 equivalente por sector en nuestro país.

Figura 5. Generación de CO_2 equivalente en México por sector
Fuente: SEMARNAT, 2015

La ganadería contribuye de manera importante a la emisión de gases de efecto invernadero, sector en crecimiento y justificado debido a las necesidades de alimentación sobre todo en los países más densamente poblados. Este sector emite en gran medida algunos gases con mayor potencial de calentamiento atmosférico.

> Por ejemplo, el sector emite el 37 por ciento del metano antropógeno, el cual proviene en su mayor parte del proceso de fermentación ocurrido en la digestión entérica de los rumiantes y tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el del CO_2, y el 65 por ciento del óxido nitroso antropógeno, cuyo PCG es 296 veces mayor que el del CO_2, en su mayor parte proveniente del estiércol. La ganadería también es responsable de casi las dos terceras partes (64 por ciento) de las emisiones antropógenas de amonio, las cuales contribuyen significativamente a la lluvia ácida y a la acidificación de los ecosistemas (Steinfeld H., *et al*, 2009).

Con esta tesis, se pretende colaborar para que este fenómeno se reduzca, al proponerse un biodigestor para generar biogás, una fuente energética alternativa proveniente de los residuos que a diario se generan en zonas rurales. Entre las anteriores se encuentra el manejo de excretas de ganado bovino y porcino, residuos con los que se alimenta el biodigestor y como consecuencia la disminución de la dependencia de combustibles fósiles y leña en procesos de cocción de alimentos y obteniendo como producto final biofertilizante.

Por lo anterior, la ecotecnia que significa un biodigestor, ha representado un modesto elemento para apoyar la sustentabilidad en el mundo, la propuesta de este proyecto se enfoca al ámbito rural, debido a sus implicaciones ecológicas, económicas y sociales.

1.2. Elementos teóricos que acompañan la ecotecnia

Una ecotecnia como la representada por un biodigestor se transforma en un detonante de sustentabilidad, pareciendo compleja su comprensión, razón por la cual es necesario describir los elementos teóricos que faciliten su manejo en toda su dimensión. Por lo tanto, se presentan los temas teóricos que hemos identificado como relevantes.

1.2.1 Ecotecnología como alternativa de desarrollo en áreas rurales

Los avances de la tecnología desde su surgimiento con la Revolución Industrial (1760), han modificado el mundo occidental e impactado, más tarde, a países como el nuestro, inicialmente en 1880 en el Porfiriato, de manera amplia, aunque no integral y en 1940 con el inicio del llamado milagro mexicano. Con ese avance tecnológico se ha generado el llamado progreso o modernización del mundo, el cual ha traído grandes beneficios en diversos sectores.

Han pasado poco más de 255 años para el mundo y 135 para México, de ese llamado progreso y modernización, notándose sin duda grandes transformaciones en toda la esfera de la vida. Pero dicho cambio estuvo fincado, en un grave deterioro y modificación de la naturaleza, el cual se ha documentado detalladamente por organismos como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Siendo tan grave el desequilibrio a partir de las consecuencias generadas, la humanidad, promovió en 1992 la Cumbre de la Tierra, con el objetivo de difundir el problema y acordar una Agenda para el Desarrollo Sustentable para el siglo XXI. Le han seguido otras reuniones y acuerdos sobre múltiples problemas ambientales, pasando por la Cumbre sobre Desarrollo Sustentable de 2002, los Objetivos del Milenio y lo más reciente, los objetivos sobre Desarrollo Sustentable en 2015.

Por lo tanto, el desarrollo sostenible se ha promovido como alternativa al modelo económico y tecnológico de desarrollo vigente, el cual se ha mostrado como el gran causante de la destrucción ambiental mundial. Una causa fundamental de deterioro y explotación ha sido la tecnología y procesos que de ella se derivan por el consumo de bienes de la naturaleza, justificado por la búsqueda de solución a problemas de alimentación, vivienda y empleo, aun con la inequidad que ésta ha representado, por esta razón tal modelo ha sido fuertemente criticado:

> Específicamente, Schumacher, (1973) partió de una crítica al sistema económico, caracterizándolo como insostenible, y señaló las debilidades de la tecnología convencional (centralizada, dependiente de combustibles fósiles, altamente contaminante y costosa), su fracaso para adaptarse a escalas pequeñas de producción y fuentes locales de materiales, el uso ineficiente y no cualificado de la mano de obra, así como la importación y selección de maquinaria y tecnología inadecuada a las condiciones socio-culturales locales.

El modelo tecnológico dominante muestra tendencias que obligan a la uniformidad, la universalización y la generalización, mismos que no siempre son respetuosos del medio ambiente basando su producción en la obtención de ganancia, sin importar los medios. A partir del ambientalismo moderno entre las décadas de 1960 y 1970 surgió la ecotecnología, la cual busca satisfacer las necesidades de la sociedad partiendo del respeto por el equilibrio ecológico. Es importante aclarar que, aunque se pretenda que las aplicaciones ecotecnológicas sean sencillas y entendibles para los usuarios, esto no significa que los dispositivos sean de “baja tecnología” o aplicaciones que no requieren de investigación científica (Ortiz, *et al*, 2015). Previo a la apropiación de las ecotecnias ha sido relevante el papel de la ciencia para desarrollar e innovar dispositivos que mejoren las condiciones de vida, sobre todo en zonas en las que se busca cubrir las necesidades básicas humanas evitando que el recurso económico sea una limitante.

Por los criterios que cumplen y por su adaptación en especial al medio rural mexicano, las ecotecnias han tenido un gran impulso y aceptación que tiende a generalizarse. Tal difusión implica el cuestionamiento del modelo tecnológico dominante, pero sin llegar a la sustitución total de éste, porque el gran capital es su promotor. Sin embargo, el

cuidado del ambiente y el apoyo al desarrollo social son armas de las ecotecnias que fortalecen su búsqueda y expansión.

Un aspecto fundamental que favorece la difusión de la ecotecnología, mismo que he podido constatar durante la fase de campo de este proyecto, es que las ecotecnias responden a las condiciones de los ecosistemas y a la cultura de los actores sociales. Responden, en el caso rural, a la forma de vida, a sus necesidades, propuestas de solución y eficiencia de los traspatios y su integración, al igual que en espacios como los urbanos marginales al ser retomados por grandes empresas constructoras de edificios y viviendas, debido a la nueva normatividad arquitectónica y por las posibilidades de ganancias que representa la propuesta verde.

La apropiación es un factor social determinante en la aplicación y desempeño de las ecotecnias.

> Una concepción estrecha de tecnología apropiada lista las características específicas que las tecnologías deben reunir para ser consideradas apropiadas: bajo costo de inversión por lugar de trabajo, bajo costo de inversión por unidad producida, simpleza en la organización, alta adaptabilidad a una sociedad particular o ambiente cultural, uso acotado de recursos naturales, bajo costo del producto final y alto potencial de empleo (Cáceres, 1993). Otros autores agregan: creación de trabajo local, producción local y controlada, libre de regalías, que hacen uso de materiales locales, uso de energía descentralizada y de energías renovables, que cuentan con la participación de los usuarios en su diseño y protege el medio ambiente (Javi, 2006).

Tan importante ha sido el auge de la ecotecnología en México que en 2012 y 2013 se realizaron encuentros nacionales sobre el tema, promovidos por la UNAM y el Centro de Ecotecnias del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada AC (GIRA). En ellos:

> Uno de los hallazgos más sobresalientes de los encuentros nacionales fue la identificación de una creciente variedad de actores involucrados en el tema, principalmente emprendedores sociales y organizaciones de la sociedad civil. Se documentaron desde organizaciones que se encuentran desarrollando innovaciones locales para el acceso al agua potable, saneamiento y alimentos de

> traspatio, hasta empresas que han adaptado sus tecnologías a las necesidades de los grupos sociales más vulnerables y han logrado diseñar esquemas de micro-financiamiento para hacerlas asequibles a comunidades en condiciones severas de marginación económica y política. Existen organizaciones de amplia trascendencia y décadas de trabajo en regiones específicas, a las que se suman hoy en día una generación de innovadores que están difundiendo estufas de leña mejoradas, biodigestores, aerogeneradores, sistemas fotovoltaicos, sanitarios secos, sistemas de captación de agua de lluvia, entre otros, a algunos de los rincones más pobres del país (Fressoli, 2014: s. p).

A pesar de las discrepancias con el término, ya que hemos encontrado ecotecnias o tecnologías ecológicas, tecnologías alternativas y tecnologías apropiadas, para efectos de este trabajo, adoptamos el siguiente concepto de ecotecnia:

> Es un instrumento desarrollado para aprovechar eficientemente los recursos naturales y materiales y permitir la elaboración de productos y servicios, así como el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y materiales disponibles en nuestras comunidades (Zarate, 2011).

De acuerdo al contexto descrito previamente la aplicación de ecotecnias nos ayuda a mejorar las condiciones de vida de los usuarios, siendo tales beneficios de carácter económico, la reducción de riesgos a la salud y la generación de beneficios locales y globales, como se muestra en la figura 6.

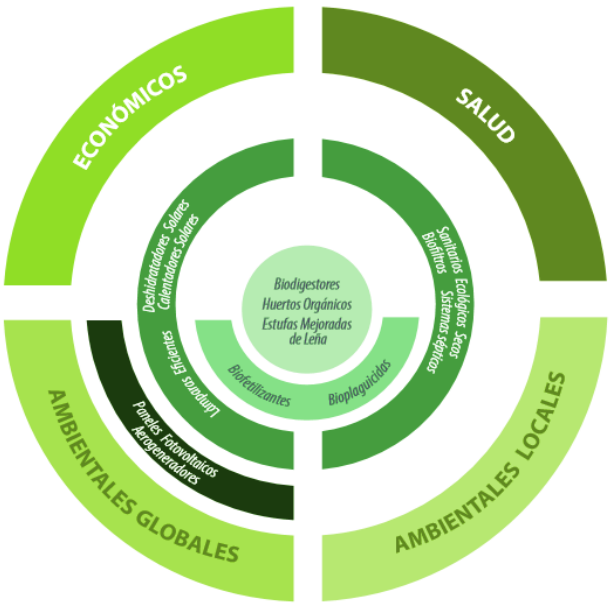


Figura 6. Beneficios que brindan distintas ecotecnias
Fuente: Ortiz, *et al*., 2014

Otro ejemplo de impacto de las ecotecnias es la satisfacción de necesidades básicas como se muestra en la figura 7. Por ejemplo, los biodigestores representan una alternativa de reciclaje y eficiencia de los procesos agrícolas y/o ganaderos, por medio de la generación de energía (calorífica, mecánica o eléctrica), el manejo adecuado de los residuos orgánicos y la obtención en la etapa final del proceso de biofertilizante, elemento importante en la producción de alimentos.

Figura 7. Ejemplos de ecotecnias para la satisfacción de cuatro necesidades básicas (Nótese que algunas ayudan a satisfacer más de una necesidad)
Fuente: Ortiz, *et al*., 2014

La integración de la ecotecnología a procesos de desarrollo local, buscando que estos sean social, cultural y ambientalmente viables, genera cambios en la vida de los habitantes de zonas rurales que se traducen en autosuficiencia en: alimentación, manejo de residuos, acceso y cuidado del agua, mejoras en la integración de la vivienda y en cuestión energética, disminuyendo la dependencia de la población de combustibles tradicionales.

Para esto es importante considerar que las ecotecnologías deben cumplir ciertos criterios ambientales, sociales y económicos, tales como:

> Ser accesibles, especialmente para los sectores más pobres de la sociedad, estar enfocadas a las necesidades y contextos locales, ser amigables con el ambiente, promoviendo el uso eficiente de recursos, el reciclado y el re-uso de los productos, promover el uso de recursos locales y su control, generar empleo en las economías regionales, especialmente en las áreas rurales, de las que la población ha tenido que migrar por falta de oportunidades, ser producidas preferentemente a pequeña escala y de forma descentralizada, ser diseñadas, adaptadas y difundidas mediante procesos participativos, con diálogo entre los saberes locales y los

> científicos (esto es clave en el contexto campesino e indígena, donde las poblaciones locales cuentan con acervos muy valiosos de conocimiento) (Ortiz, *et al*., 2014).

La cuestión cultural y los saberes de las comunidades rurales son parte importante en la implementación de ecotecnias, en estos sitios los servicios ecosistémicos son preservados debido al grado de conciencia de la dependencia que tenemos de ellos, por ser el principal sustento de la alimentación humana, tanto para zonas rurales como urbanas. La desconexión entre necesidades locales y globales ha generado fisuras entre la innovación y las necesidades de las poblaciones rurales.

1.2.2 Legislación aplicable a la biodigestión anaerobia

Como parte de los compromisos pactados en la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, art 4º, inciso: c) se menciona la importancia del impulso de alternativas más amigables con el ambiente sin limitar el desarrollo de los países, dicho inciso tiene por objetivo:

> c) Promover y apoyar con su cooperación el desarrollo, la aplicación y la difusión, incluida la transferencia, de tecnologías, prácticas y procesos que controlen, reduzcan o prevengan las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en todos los sectores pertinentes, entre ellos la energía, el transporte, la industria, la agricultura, la silvicultura y la gestión de desechos; (UN, 1992).

Derivado de dicha convención surge el Protocolo de Kyoto (1998), que de manera general tiene el objetivo de reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero los cuales son causantes del cambio climático global, los seis gases mencionados son: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) (UN, 1998).

En este sentido la biodigestión anaerobia es un proceso por el cual se reduce la emisión directa de CO_2 y CH_4 principales componentes del biogás, solo que en este

caso se obtiene una fuente energética en lugar de que estos sean emitidos directamente a la atmósfera.

> Se supone que mediante el biogás se puede lograr un 50 por ciento de reducción de las emisiones en los climas templados para estiércoles que de otra manera se almacenarían de forma líquida y, por lo tanto, tendrían emisiones de metano relativamente altas. En los climas más cálidos, donde se calcula que las emisiones de metano procedentes del almacenamiento de estiércol líquido son tres veces más altas (IPCC, 1997), es posible una reducción potencial del 75 por ciento (Martínez, comunicación personal) (Citado por Steinfeld H., *et al*, 2009).

México como parte de los países que han ratificado el Protocolo de Kyoto, ha participado de manera activa en el MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) por lo que para 2009 en nuestro país existían 178 proyectos registrados ante la Junta Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, de los cuales 142 corresponden a proyectos de reducción de emisiones de metano en el sector agropecuario.

En este sentido, México cuenta con una gran cantidad granjas de cerdos y establos lecheros, estos son una fuente de desechos orgánicos que representan una condición desfavorable para el medio ambiente causando un grave problema de contaminación y salud pública. En la actualidad, muchas unidades pecuarias han incorporado sistemas de biodigestión en sus procesos productivos, siendo el objetivo de aplicación de esta ecotecnia la comercialización de Bonos de Carbono, por la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (FIRCO-SAGARPA). Los lineamientos de la política de SAGARPA en materia de medio ambiente y cambio climático han instrumentado acciones que fomentan el uso y aplicaciones de la energía renovable en el sector rural sustentable, disminuyendo así, impactos al ambiente generados por actividades productivas.

Además, México participa en la Iniciativa Metano a Mercados, la cual es liderada por la EPA (Environmental Protection Agency) de los EEUU, e implantada en conjunto con países tales como Alemania, Argentina, Australia, Brasil, China, Colombia, Comisión Europea, Ecuador, Estados Unidos, India, Inglaterra, Italia, Japón, Nigeria, Polonia, Reino Unido, República de Corea, Rusia, Ucrania y Vietnam, cuyo objetivo, es reducir

las emisiones de metano con el fin de potenciar el crecimiento económico, fortalecer la seguridad energética, mejorar la calidad del aire, mejorar la seguridad industrial, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero reuniendo a los sectores gubernamental y privado en el desarrollo de proyectos de captura y uso de metano. La aplicación de estos proyectos prueba la tecnología existente y su desempeño en granjas en el país, SEMARNAT y SAGARPA (esta última específicamente a través del FIRCO y la Coordinación General de Ganadería) trabajan de manera conjunta fomentando la implementación de esta ecotecnia.

De acuerdo al Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México se tiene documentada la existencia de 721 biodigestores, 563 correspondientes a los derivados de los PDD´s (Project design document), 154 apoyados por el FIRCO y 4 más instalados bajo la iniciativa M2M (metano a mercados en México). La mayoría de los biodigestores instalados se encuentran en la región Noroeste y Centro Occidente del país, esto debido a que cuentan con la mayor cantidad de granjas porcícolas y establos lecheros.

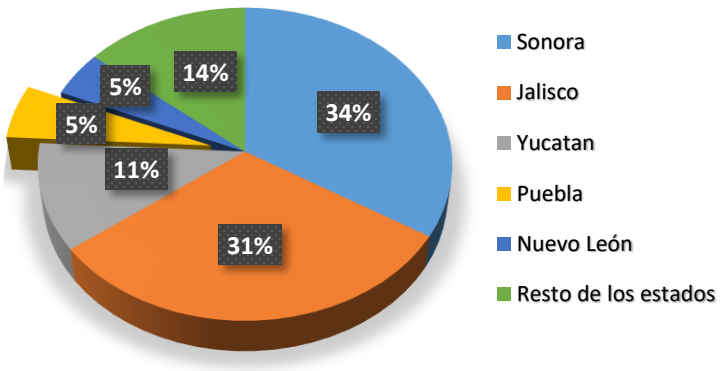


Figura 8. Biodigestores instalados en nuestro país por estado.
Fuente: Elaboración propia a partir de FIRCO-SAGARPA, (s.f.)

Es importante mencionar como parte de los instrumentos de regulación ambiental en nuestro país referentes a las tecnologías que incluyen residuos, mencionar la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, misma que en el punto 6.3.1.4 llamado: Evaluación hidrológica, menciona la generación de biogás y generación de lixiviados, estos parámetros deben ser debidamente inspeccionados monitoreados y controlados ya que al no tener un manejo adecuado son potencialmente peligrosos para compartimentos como aire, agua y suelo, en el caso del biogás un procedimiento importante es su quema, para evitar su emisión directa a la atmósfera y en el caso de los lixiviados generados por reacciones de fermentación de los residuos evitar su contacto o filtración al suelo y subsuelo para evitar que los mantos acuíferos se vean afectados.

1.2.3 Biodigestión anaerobia y biogás

En la biodigestión anaerobia se llevan a cabo diversas reacciones bioquímicas en las que intervienen una gran cantidad de bacterias, siendo el sustrato la materia orgánica generalmente proveniente de desechos de diversas actividades y se lleva a cabo en ausencia de oxígeno.

Las etapas de que consta este proceso son:

a) Hidrólisis.

b) Acidogénesis

c) Acetogénesis.

d) Metanogénesis

Hidrólisis: Conversión de biopolímeros no solubles a compuestos orgánicos solubles

Acidogénesis: Conversión de los compuestos orgánicos solubles en ácidos grasos volátiles, CO_2 e hidrógeno

Acetogénesis: Conversión de los ácidos volátiles en ácido acético

Metanogénesis: Conversión de ácido acético y CO_2 en gas metano (Agrowaste, s.f.)

A continuación, se presenta el proceso de manera general (ver figura 9).

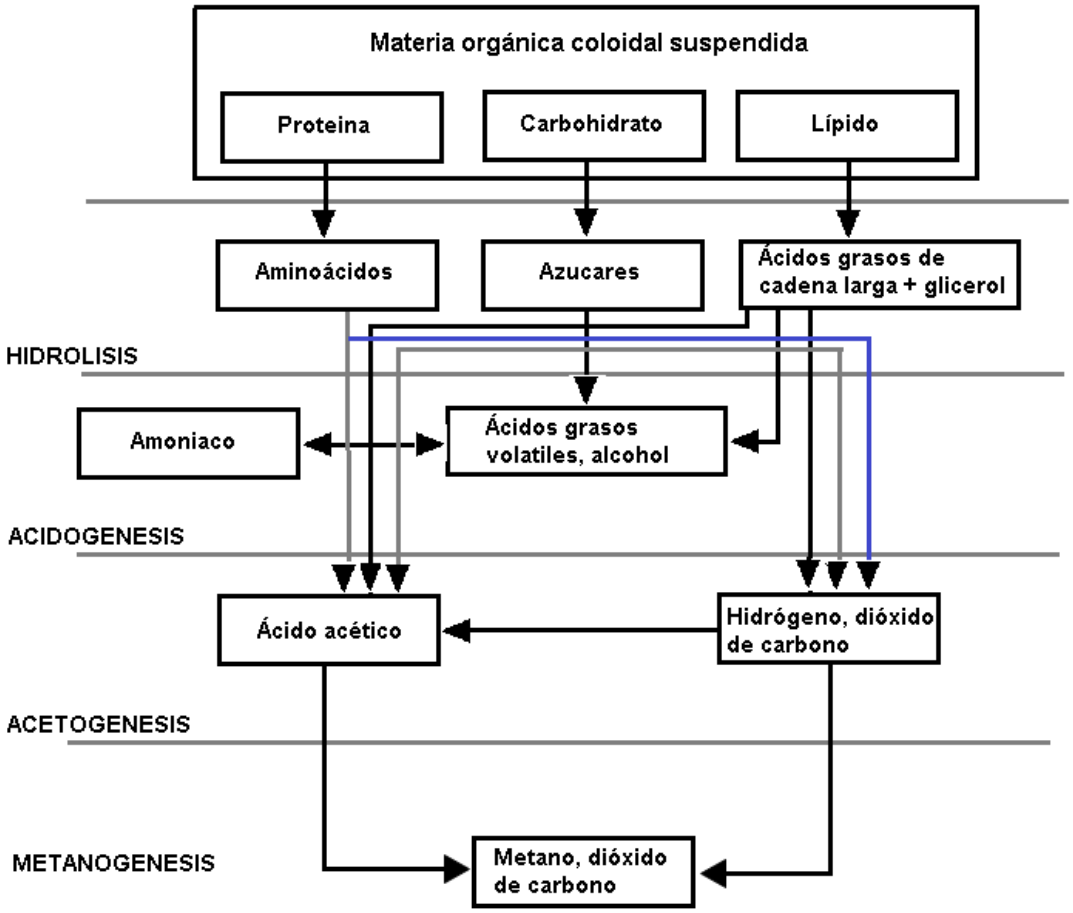


Figura 9. Proceso general de degradación anaerobia y las diversas conversiones que ocurren durante el proceso

Fuente: Modificado de Reith, *et al*, 2003

La complejidad de este proceso requiere de investigación y optimización para que su aplicación sea rentable, fácilmente replicable y ponerla al alcance de la población más vulnerable, en cuestión de acceso a energía, es importante impulsar este tipo de estrategias que contribuyen no solo en materia económica y social sino también en cuanto a disminución de impacto ambiental.

Debido a esto, la biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales. Algunas de estas son: temperatura (mesofílica o termofílica), tipo de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH (generalmente cercano a la neutralidad), toxicidad y condiciones redox óptimas (Varnero, 2011).

Las características de la materia prima que es transformada en los biodigestores cuentan con los nutrientes necesarios para que las bacterias lleven a cabo los procesos de conversión (Carbono y Nitrógeno). Pero de igual forma 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) (Varnero, 2011).

A continuación se presenta la producción teórica de biogás a partir de compuestos orgánicos.

Tabla 1. Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos.

Compuesto orgánico	**Formula química**	**Biogás m^3/Kg SV**	**CH_4 m^3/Kg ST**
Carbohidratos	$C_6H_{10}O_5$	0.75	0.37
Lípidos	$C_{16}H_{32}O_2$	1.44	1.44
Proteínas	$C_{16}H_{24}O_5N_4$	0.98	0.49

Fuente: Varnero, 1991, Citado por Varnero, 2011.

El biogás al proceder de los residuos orgánicos derivados de nuestras actividades diarias se considera una fuente renovable de energía, es decir, de biomasa (residuos vegetales, derivados del ganado, aguas residuales con alto contenido de materia orgánica y residuos orgánicos de características domiciliarias), el biogás se compone de una mezcla de gases en la que predomina el metano, seguido de dióxido de carbono y gases traza.

El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la Tabla 2

Tabla 2. Características generales del biogás.

Composición	55-70% metano (CH_4) 30-45% dióxido de carbono (CO_2) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0-6.5 Kw h m^{-3}
Equivalente de combustible	0.60-0.65 L petróleo/m^3 biogás
Límite de explosión	6-12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750º C (con contenido de CH_4 mencionado)
Presión crítica	74-88 atm
Temperatura crítica	-82. 5º C
Densidad normal	1.2 kg m^{-3}
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible
Masa Molar	16.043 kg $kmol^{-1}$

Fuente: Deublein y Steinhauser, 2008. Citado por: Varnero, 2011.

1.2.5 Desarrollo e investigación de la biodigestión anaerobia en México

En nuestros país se han implementados biodigestores alimentados de diversas fuentes orgánicas, pero para su aplicación es necesario considerar aspectos importantes como la cantidad y tipo de residuos orgánicos, la temperatura de la región, el acceso al agua, entre otros; además se considera necesaria la participación de las personas involucradas en la instalación y alimentación del mismo, ya que esta actividad se lleva a cabo de manera constante, otro aspecto importante para la aceptación de este proceso son los beneficios que de él se generan.

La capacitación e investigación en este rubro ayudan a mejorar el manejo de los biodigestores, a continuación, se describe la contribución de algunas instituciones dedicadas a la investigación en el ámbito de la biodigestión anaerobia.

Cuadro 1. Principales instituciones dedicadas al desarrollo e implementación de la biodigestión anaerobia en México

Institución	Aportación en tema de biodigestión
IRRI-Sistema biobolsa	Investigación aplicada sobre esta tecnología (pequeña y gran escala). El sistema ofrece importantes beneficios ambientales, económicos y para la salud a escala familiar y local (Sistema Biobolsa, 2014).
Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT)	Programa de desarrollo de biodigestores a gran escala (evaluación costo-beneficio)
Universidad Autónoma de Chapingo (UACh)	Proyecto de rediseño y construcción de un biodigestor adecuado a comunidades rurales. Asesoría a productores de leche del municipio de Zumpango, Edo. Mex., para la implementación de biodigestores (Pascual, 2011).
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia – Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Investigación aplicada sobre implementación de biodigestores en sistemas ganaderos a pequeña escala. Se pretenden desarrollar paquetes tecnológicos económicamente accesibles para pequeños productores ganaderos y se han identificado algunos obstáculos para el uso adecuado de la tecnología, como falta de asesoría técnica, ausencia de financiamiento y uso de materiales inadecuados (Esquivel, *et al*, 2002).

Fuente: Elaboración propia a partir de Ortiz, *et al*, 2014

De esta manera se han presentado algunos de los elementos teóricos que acompañan a la ecotecnia que significa un biodigestor, comenzando por la descripción de la ecotecnia, las ecotecnias y su importancia como alternativa que apoya el desarrollo, en especial en las áreas rurales de México. Hemos descrito la base científica que se encuentra como sustento del biodigestor, en este caso la biodigestión anaerobia y de su producto, el biogás. Por medio de una breve reseña de la utilización de esta técnica en nuestro país. El objetivo fue enmarcar la importancia teórica del biodigestor y presentar su relevancia para la sustentabilidad.

CAPITULO II ZONA DE APLICACIÓN DEL PROYECTO: SAN LORENZO CHIAUTZINGO, PUEBLA.

2.1 El interés en el municipio de San Lorenzo Chiautzingo

El municipio de San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, alberga a la familia productora que aceptó colaborar en este proyecto por medio de la aplicación de un biodigestor, mismo que se construyó en su traspatio, el cual es biodiverso. Este es un sitio idóneo, cuenta con el espacio necesario, los elementos que requiere el biodigestor para su funcionamiento y sobre todo, sus habitantes han mostrado disposición para participar activamente en la ejecución de este trabajo, además de que en este lugar se generan residuos orgánicos diariamente que se derivan de las actividades agrícolas y ganaderas, aspecto que influyó en la selección del lugar.

Figura 10. Parcela de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) perteneciente a la familia productora

2.2 Algunas características del municipio de San Lorenzo Chiautzingo

Con el fin de ubicar la zona en que se encuentra el traspatio mencionado, se presentan algunas de sus características climáticas y socioeconómicas, debido a que son el contexto específico en el que se construyó el biodigestor. Todas ellas tienen como

fuente el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED. 2015).

2.2.1 Localización de San Lorenzo Chiautzingo en el Estado de Puebla

El municipio de Chiautzingo se localiza en la parte Centro Oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19º 10'24" y 19º 13'42" de latitud norte y los meridianos 98º 26'24" y 98º 33´36" de longitud occidental y se encuentra a 2 356 m.s.n.m.

Figura 11. Localización de San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, 2015.
Fuente: INAFED, 2015

El municipio, colinda al Norte con el municipio de San Felipe Teotlalcingo, al Sur y al Este con el municipio de Huejotzingo y al Oeste con los municipios de San Felipe Teotlalcingo y Huejotzingo (INAFED, 2015).

Cuadro 2. Características socioeconómicas del municipio

Región socioeconómica	IV Angelópolis
Población total (2010)	18 762 habitantes
Grado de marginación	Medio
Extensión del municipio	81.22 Km^2

Fuente: SEDESOL, CONEVAL, 2011

2.2.2. Clima, precipitación, tipo de suelo y uso del suelo

La referencia al clima es importante para el funcionamiento del biodigestor (Ver cuadro 3). Conforme los datos, el municipio se encuentra en una región que no es cálida y con tendencia a frio (cálido subhúmedo) por lo que se tomaron en cuenta aspectos que ayudan a disminuir cambios bruscos de temperatura, por ejemplo, la orientación del biodigestor y la colocación de un techo con material utilizado en invernaderos, para mantener estabilidad en la temperatura de operación.

Por otro lado, la descripción de las actividades económicas permite ver que en la región predominan las actividades agropecuarias, lo cual ha facilitado el desarrollo del proyecto.

Cuadro 3. Características climáticas, precipitación y tipo de suelo

Clima	Templado subhúmedo con lluvias en verano (67%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (33%)
Rango de temperatura promedio	6-16^{o}C
Rango de precipitación	900 a 1100 mm
Cuenca	Rio Atoyac
Edafología	Suelo dominante: andosol (24%), cambisol (24%) arenosol (15%) phaeozem (13%) y leptosol (3%)
Uso de suelo y vegetación	Uso del suelo: Agricultura (44.5%) y zona urbana (21%) Vegetación: Bosque (34%) y pastizal (0.5%)

Fuente: INEGI, 2009

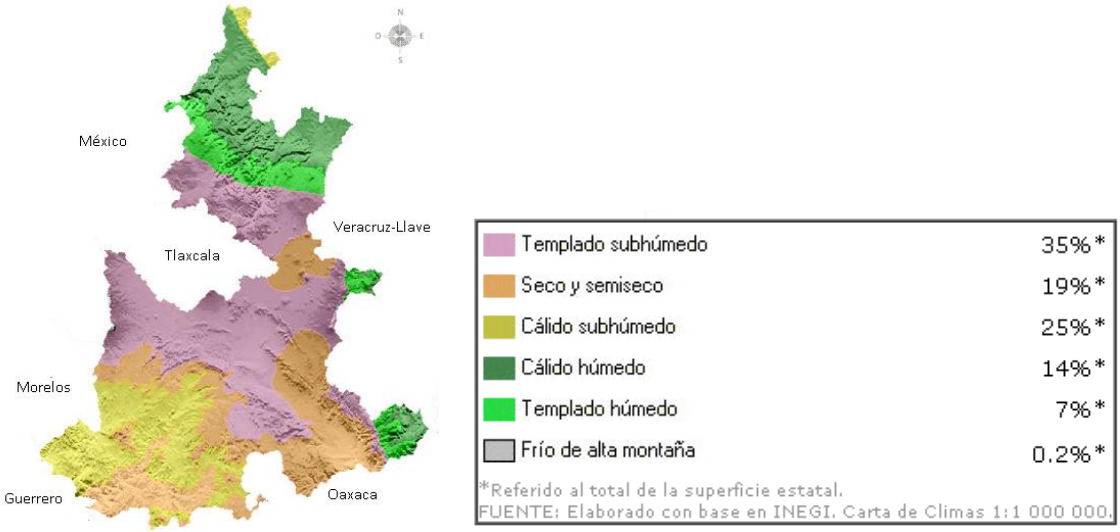


Figura 12. Distribución de climas en el estado de Puebla
Fuente: INEGI, (s.f.)

2.2.3. Condiciones sociales

El municipio ocupa el lugar 721 en el contexto nacional, debido a su situación de pobreza. Llama la atención que el 23.42 % de los hogares estén encabezados por jefas de familia, así como el dato de educación, ya que la escolaridad promedio es de segundo año de secundaria.

Cuadro 4. Características de la población del municipio, 2010

Población total	18 762 personas el 0.3% de la población en el estado.
Número de hogares	4 012 hogares (0.3% del total de hogares en la entidad). 940 estaban encabezados por jefas de familia (0.3% del total del estado).
Tamaño promedio de los hogares	4.7 integrantes, en el estado el tamaño promedio fue de 4.2 integrantes.
Grado promedio de escolaridad	La población de 15 años o más de 7.3 frente a 8 en la entidad.

Fuente: SEDESOL-CONEVAL, 2011.

El municipio de San Lorenzo Chiautzingo se caracteriza por la pobreza de su población, ya que el 80.5 % se encuentra en ella y de esta, el 22.8 % en pobreza extrema, es decir, casi uno de cada cuatro habitantes era pobre en extremo. Este cuadro se complementa con un rezago educativo grave, porque uno de cada cuatro habitantes se encuentra en este, más de la mitad de la población no tiene acceso a

servicios de salud y una quinta parte de la población reside en viviendas con mala calidad de materiales y espacio insuficiente (ver cuadro 5).

La pobreza de la población y sus carencias sociales, hacen que la ecotecnia propuesta muestre su pertinencia social, ya que, de lograr el funcionamiento óptimo del biodigestor, se puede beneficiar a la familia involucrada en el proyecto.

Cuadro 5. Población en pobreza y carencias sociales en el municipio, 2010

Pobreza	11 668 individuos (80.5% del total de la población) se encontraban en pobreza de los cuales: 8 363 (57.7%) presentaban pobreza moderada y 3 305 (22.8%) estaban en pobreza extrema.
Rezago educativo	24.2% de la población lo que significa que 3 509 individuos presentaron esta carencia social.
Sin acceso a servicios de salud	57.4% equivalente a 8 311 personas.
Sin acceso a seguridad social	87.4% de la población es decir 12 664 personas se encontraban bajo esta condición.
Habitar viviendas de mala calidad	Viviendas con mala calidad de materiales y espacio insuficiente fue de 22.5% (3 257 personas).

Fuente: SEDESOL-CONEVAL, 2011.

2.2.4 Actividades económicas

En el municipio las principales actividades económicas son las agropecuarias y el comercio (Ver cuadro 6). La distancia aproximada a la capital del Estado es de 33 kilómetros, dato importante para la comercialización de sus productos y para el acceso a bienes comerciales.

Cuadro 6.- Actividades económicas predominantes en el municipio

Localidades pertenecientes al municipio de San Lorenzo Chiautzingo	**Principal actividad económica**
San Agustín Atzompa	Agricultura y fruticultura
San Juan Tetla	Agricultura y fruticultura
San Antonio Tlaltenco	Agricultura y floricultura
San Nicolás Zecalacoayan	Agropecuaria y floricultura

Fuente: Elaboración propia a partir de INAFED, 2015.

2.3 San Lorenzo Chiautzingo una zona campesina

Por sus características, San Lorenzo Chiautzingo se caracteriza como una zona campesina con herencias indígenas, aunque no se considera indígena ya que la lengua materna se ha perdido, sólo la conserva una mínima parte de la población, al igual que gran parte del mundo rural poblano, en especial en el Valle de Puebla.

2.3.1 La visión campesina general

Lo campesino se presenta desde lo cultural, definido por una cosmovisión que presenta una relación diferente con la tierra, el agua y el suelo, así como con la biodiversidad animal y vegetal. Regularmente esta relación es de respeto y llena de ritos, prácticas antiguas y mitos, aunque con la introducción de acciones mecanizadas y uso de fertilizantes e insecticidas comerciales, paulatinamente se ha ido perdiendo e imponiéndose la visión mercantilizada que ya considera a la naturaleza como recurso y mercancía.

Lo campesino también se refleja en el modo de producción, comenzando por la posesión de la tierra, ya que se tienen parcelas no mayores a cinco hectáreas, la mayoría de temporal, aunque algunas zonas cuentan con riego. Minifundios temporaleros que permiten una agricultura de subsistencia, pero con remanentes o productos especiales que también son llevados al mercado, complementando así el ingreso familiar. De esta manera los campesinos son pluriactivos, trabajan en servicios, migran y producen fundamentalmente maíz, fríjol y calabaza. De esta manera aseguran alimentos e ingresos.

El elemento que explica la sobrevivencia de los campesinos de la zona es una producción rural diversificada, los cultivos solos o combinados. El cultivo de hortalizas como la calabaza, el chile, el cilantro; el cultivo de alimentos forrajeros como la alfalfa, la avena, la cebada y el mismo maíz; una floricultura con problemas donde se produce flor de cempasúchil y rosas, y; una fruticultura propia de la zona que permite obtener manzana, durazno, pera, chabacano, tejocote, capulín y nueces (Leyva García, M. 2011). Lo anterior se complementa con una producción ganadera de traspatio que permite tener ganado vacuno, ovino, porcino y aves de corral.

La pluriactividad rural que se presenta en el municipio, sobre todo en la cabecera municipal genera oportunidades para mejorar los ingresos familiares, aunque no resuelve totalmente la situación de pobreza.

2.3.2 La estrategia de los traspatios en lo campesino

La práctica que complementa la vida campesina es el traspatio, el lugar junto a la vivienda en donde se cultivan flores, plantas medicinales y alimentos; donde se seca el maíz, la fruta o los chiles, en donde se convive con animales para obtener de ellos productos como leche, huevos o carne, y; en donde se reproduce la cultura y saberes campesinos, de los viejos a los hijos y nietos.

> La existencia de traspatios en las comunidades rurales de México, en especial en las zonas indígenas y campesinas, es de un valor incalculable, ya que se trata de la sobrevivencia de un componente importante de la biodiversidad local. La presencia y conservación de sus especies originales, son importantes tan sólo por este valor histórico, pero lo es más en el sentido de acompañar esta preservación con un conjunto de conocimientos y saberes milenarios, que lamentablemente hoy se encuentran en vías de desaparecer (Pérez Avilés, *et al*. 2015).

En la cabecera municipal de San Lorenzo Chiautzingo, sin contar con el total, la mayor parte de familias poseen un traspatio o huerto productivo. Sus dimensiones son de un tercio de hectárea y en ella se reproduce gran parte de lo que se produce en la parcela. Llama la atención que las promotoras y quienes sostienen los traspatios son las mujeres, su visión de las necesidades de la familia respecto a la alimentación, salud, dinero y hasta entretenimiento, permite planear y realizar acciones en los traspatios para cubrir esas necesidades familiares. Debajo de esas acciones visibles hay otras invisibles, por ejemplo, la educación de los hijos sobre la economía del campo, la integración de la familia y la generación de una identidad campesina respetuosa de la naturaleza.

El traspatio es un lugar, en lo general, para innovar y reciclar, aunque en otros ámbitos se califique a los campesinos de tradicionales. Hacen gallineros o conejeras con lo que

hay, recuperan formas antiguas de conservación de alimentos, pero también introducen invernaderos que usan para el secado del chile poblano. Construyen caballerizas o establos con los elementos de la zona. Diseñan formas para la captura de agua y su uso intensivo. En fin, sin proponérselo, diseñan y construyen ecotecnias que hacen del traspatio un centro de aplicación tecnológica.

Por lo anterior, es en el traspatio en donde se ha realizado la construcción del biodigestor que se propone en esta tesis y para ello se describe brevemente el traspatio de la familia Arroyo Pérez.

2.4 Traspatio de la familia Arroyo Pérez

El presente proyecto se desarrolló con la familia Arroyo Pérez, esto debido a que en sus actividades diarias obtienen residuos agrícolas y ganaderos, mismos que requieren de manejo y disposición final; la familia cuenta con producción para autoconsumo y venta, previamente han incorporado ecotecnias en su traspatio debido a que buscan la eficiencia de sus procesos productivos, por lo que mostraron apertura en la aplicación del biodigestor. Por esta razón, era importante probar la efectividad del proceso de biodigestión anaerobia como alternativa de manejo de residuos ganaderos aunado a la producción de biogás, fuente energética renovable, de bajo costo y ambientalmente viable, además de la producción de biol y biosol, es decir, biofertilizante para su incorporación a procesos agrícolas, esto se apoya por medio del análisis de las tres dimensiones de la sustentabilidad: ambiental, económico y social.

> El traspatio es considerado para su estudio como un agroecosistema, en el que el grupo doméstico campesino que lo gestiona relaciona diversas especies vegetales, animales, tierra, agua y la infraestructura y equipo. El agroecosistema es una de las unidades de análisis de la agroecología y esta tiene como objetivo el conocimiento de los elementos y procesos clave que regulan el funcionamiento de los agroecosistemas, y establece las bases científicas para una gestión eficaz en armonía con el ambiente (Gliessman *et al*., 2007).

Como se muestra en la figura 13, el traspatio es una unidad de producción donde se lleva a cabo el intercambio de materias de una forma tridimensional:

> 1) con el medio ambiente natural que incluye el conjunto de ecosistemas naturales y sus etapas sucesivas que existen en el territorio al cual se vincula la unidad de producción, 2) con el medio ambiente transformado representado por el conjunto de ecosistemas artificiales o agroecosistemas de los cuales forma parte y, 3) con el medio ambiente social, que se define como el espacio social donde la unidad de producción lleva a cabo su intercambio económico o relaciones sociales de producción (Toledo, 1981).

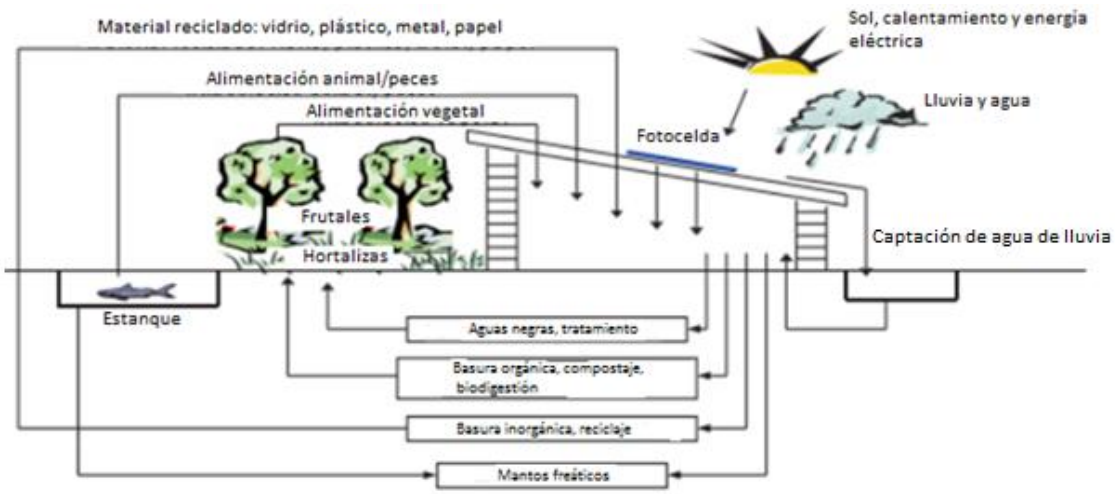


Figura 13. Diagrama de los componentes e interacciones de una granja ecológica integral
Fuente: SAGARPA, (s.f.)

Para la incorporación del biodigestor al traspatio de la familia Arroyo Pérez, fue necesario caracterizar sus componentes, el tipo de alimentación que recibe el ganado y la generación de residuo de origen animal diaria, datos que se describen a continuación.

2.4.1 Componente animal

En este traspatio la familia cuenta con conejos, ganado ovino, ganado bovino, aves de corral y ganado porcino, mismos que diariamente generan residuos debido a sus

excretas y las que requieren de una alternativa de manejo para el reordenamiento del traspatio.

Figura 14. Producción de carne de conejo a), Ganado ovino b), Ganado bovino c), Aves de corral d) Ganado porcino e).

Las especies de animales como vacas, borregos, cerdos, gallinas, conejos y abejas, además de ofrecer carne, leche, lana, piel y miel, producen estiércol, controlan plagas y malezas, y diversifican las fuentes de ingreso (SAGARPA, s.f.).

2.4.2 Componente agrícola

Este componente es necesario en todo traspatio ya que forma parte de los alimentos producidos al estar integrado por hortalizas, cereales, plantas forrajeras y en algunos casos se constituye también de plantas medicinales, el tamaño de este espacio depende de la extensión con que cuenta la familia, las condiciones edafológicas y la disponibilidad de agua de la zona. A continuación se presenta parte de la producción agrícola, ya que existen diversos cultivos en este traspatio pero la mayor parte son

estacionales, los que se muestran pertenecen al periodo otoño, en el cual se llevó a cabo la caracterización de este traspatio (Ver figura 15).

Figura 15. Producción de calabaza a) (*Curcubita maxima*), Parcela de chile poblano b)**,** Chile poblano (*Capsicum annum*), chile loco y chile de árbol c), Deshidratador de chile d), Producción de jitomate en invernadero e) (*Solanum lycopersicum*), Flor de Cempasúchil f) (*Tagetes erecta*).

Descrito el traspatio de la familia, se puede ver la integración de componentes agrícolas y pecuarios, los cuales se conectan entre ellos e inclusive con las actividades en la parcela que posee la familia en el campo. Todo ello apoya la realización del proyecto como se puede comprobar con el siguiente capítulo.

2.4.3 Componente social

Además de la parte ambiental y productiva (económica) del traspatio se plantea su componente social, ya que son los sujetos sociales los que hacen posible la realización de esta práctica campesina.

El trabajo de la familia y en especial de la mujer en el traspatio son indispensables para su funcionamiento y lograr la conservación de la biodiversidad vegetal y animal, producir alimentos sanos, generar ingresos, crear empleo para los integrantes de la familia y proporcionar medicinas naturales.

En este traspatio, la participación de Doña Arcenia ha sido fundamental. Desde joven lo que se obtenía en la parcela y en el traspatio le permitió convertirse en comerciante, pero no sólo en la comunidad, sino que se aventuró a comerciar sus productos (carne de conejo y de gallina, huevo, chiles, maíz, frutas y flores) en el entonces Distrito Federal, cuando joven, hacia dos viajes por semana, actualmente solo uno. Este final del proceso significa un trabajo previo que se daba en la producción y cosecha de productos agrícolas; en el cuidado, manejo y reproducción de animales de corral y producción de derivados. Así como en el cuidado de todo el traspatio y en la creación de instalaciones improvisadas y adaptadas para realizar el trabajo requerido.

Las acciones previas y el acercamiento al mercado, significan que Doña Arcenia tuvo que aprender de sus ascendientes, tuvo que educarse en la práctica hasta obtener saberes que hoy la hacen una mujer sabia. Nada fue fácil, hace 20 años viajar al Distrito Federal era todo un reto, en especial por ser mujer. Pero ella tuvo el valor de resolver todas las dificultades.

Ella ha sido un referente para sus hijas, hijos y ahora para sus nietos. Lo importante ha sido que tuvo y tiene aún, la capacidad y la fuerza para trasmitir sus conocimientos y sabiduría a sus descendientes. Pero rebasando el esquema práctico de sus experiencias, ya que con lo ganado educo a los hijos, hoy uno de ellos es Ingeniero Agrohidráulico egresado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Sin los saberes que ella ha adquirido y sin los conocimientos nuevos del ingeniero, que tiene una visión claramente ambiental, difícilmente se hubiera aceptado la propuesta de construir un biodigestor en su traspatio. En el presente, el traspatio une a tres generaciones, no todos conservarán esta práctica, pero algunos de ellos alientan la perspectiva que el traspatio perdurará. Sin embargo, este hoy les regresa dos beneficios adicionales, como el que representan la educación ambiental empírica de todos y la integración como familia, la que se alimenta con valores fundamentales:

amor por la naturaleza, cooperación, solidaridad, respeto, igualdad y, sobre todo, la persistencia de lo campesino como modo de vida.

En esta familia se demuestra que son innovadores y sensibles a la adopción de nuevas tecnologías. Doña Arcenia se adaptó a su tiempo y hoy su hijo hace lo suyo al introducir nuevas tecnologías, como las que se indican en el siguiente apartado.

2.4.4. Componente ecotecnológico

Derivado de una acción familiar cotidiana y persistente el traspatio de la familia Arroyo Pérez, está lleno de ecotecnias, algunas de ellas antiguas y logradas con sentido común campesino, mostradas con la improvisación y adaptación. Construidas con lo que estaba a la mano, como la conejera, el gallinero, la camas para el secado del chile y el establo. Todo esto con el objetivo de aplicar la agroecología, producen maíz y calabaza en el mismo traspatio, ahí secan y desgranan el maíz; tienen frutales, flores y hierbas medicinales.

Otras ecotecnias, como los invernaderos y su riego, son modernas pero rescatando su lineamiento ecológico, en ellos se produce jitomate y chile entre otros, dependiendo de la época del año, o bien en donde se han adaptado para la deshidratación a gran escala de diferentes tipos de chile que se producen en la parcela.

En este escenario ecotecnológico fue aceptada la construcción del biodigestor que se les propuso para apoyar la realización de esta tesis. Una ecotecnia que les pareció necesaria por los beneficios anteriormente descritos y que han aceptado no de palabra, sino con el compromiso de participar en su construcción, funcionamiento y operación. No lo hacen con una lógica económica, claro que vislumbran el ahorro en el pago de gas y fertilizantes, también lo han hecho por el amor que le tienen a su traspatio, el cual responde a una lógica campesina.

CAPITULO III LOS BIODIGESTORES Y SU INCORPORACION AL TRASPATIO CAMPESINO

3.1 Biodigestión anaerobia aplicada en zonas rurales

La biodigestión anaerobia es un proceso en el que se da manejo y disposición final a las excretas generadas en actividades ganaderas y/o a los residuos derivados de la agricultura, evitando así la proliferación de plagas, fauna nociva, malos olores, acumulación de residuos, ente otros; pero lo relevante es que se agrega valor a dichos residuos. Se pasa de residuo contaminante a materia prima de biogás y biofertilizante, disminuyendo así riesgos ambientales.

Se trata de un proceso que se realiza por medio de un biodigestor, ecotecnia de múltiples ventajas que es la propuesta de esta tesis y que se sugiere ubicar en los traspatios de las familias campesinas. Dicho proceso es:

> La fermentación realizada por bacterias anaerobias sobre la materia orgánica, componente de un 80% de las excretas y posee las ventajas de:
>
> - Proporcionar combustible (biogás) para suplir las principales necesidades energéticas rurales.
> - Reducir la contaminación ambiental al convertir las excretas, que hacen proliferar microorganismos patógenos, larvas e insectos en residuos útiles.
> - Producir abono orgánico (bioabono), con un contenido mineral similar al de las excretas frescas e igualmente útil para los suelos, los cultivos y para el desarrollo del fitoplancton y del zooplancton, utilizados por algunas especies acuáticas en su alimentación.
> - Mediante la digestión llevada a cabo por bacterias anaerobias, se destruyen microorganismos, huevos de parásitos y semillas de malezas contenidos en las excretas frescas, quedando el fertilizante residual libre de tales gérmenes y plantas indeseables (Botero R. y Preston T., 1987:3-4).
> - La reducción del trabajo físico, sobre todo el que realizan las mujeres y niños debido a la recolección de leña
> - Reducción de la presión sobre recursos naturales tales como leña y carbón

- Dar valor agregado a residuos que de otra manera causarían contaminación, especialmente en áreas urbanas (Xuan, *et al*, 1988:3).

Pero la mayor importancia de la aplicación de ecotecnias, a los procesos productivos agrícolas y ganaderos, radica en el aprovechamiento de recursos locales existentes, que de otra manera se traducirían en contaminantes. Este aprovechamiento de lo local es un principio de la sustentabilidad, el cual se amplía porque acerca un beneficio a lugares marginales. Dicho beneficio es invaluable, porque en bastantes zonas rurales es difícil satisfacer las necesidades básicas de combustible a causa de la carencia de infraestructura de comunicaciones y/o transportes, la falta de mano de obra y lo complicado que llega a ser el suministrarlo en la zona. Por esto, el uso de un biodigestor es una forma sustentable de que las poblaciones de dichos lugares, obtengan un gas combustible sin la necesidad de hacer una gran inversión o aplicar una técnica complicada (Londres. s. f).

La reincorporación de los residuos en ecotecnias como el biodigestor, genera ahorros al interior de los traspatios y evita impactos graves, en especial en los ecosistemas y la salud de la población. Para visualizar el ciclo productivo y las aplicaciones de la ecotecnia, así como de los productos obtenidos para su uso doméstico o agrícola, (Ver figura 16).

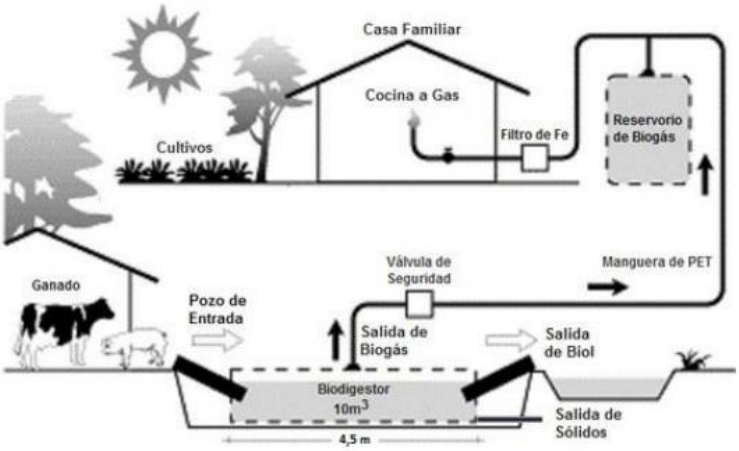


Figura 16. Ciclo productivo en el traspatio campesino
Fuente: Londres (Pseudónimo de integrantes), (s. f.)

La sobreexplotación de recursos para cubrir nuestras necesidades básicas compromete su disponibilidad para futuras generaciones, siendo la alimentación uno

de los sectores del que en mayor medida dependemos y su aprovechamiento es directamente proporcional a la cantidad de población actual, su preparación requiere de diversas fuentes energéticas, siendo predominante en zonas rurales la leña.

> La leña satisface las necesidades de energía para cocinar y calentar agua, y brindar calefacción a los hogares de 21 millones de pobladores rurales y por lo menos 4,5 millones de habitantes urbanos, que representan el 32 por ciento de los mexicanos (Martínez, *et al*, 2015).

La deforestación presenta diversas causas, entre ellas, la migración, aumento poblacional, cambio de uso de suelo, agricultura intensiva, uso cotidiano de leña, factores que rápidamente consumen los recursos forestales, prácticas como “tumba y quema”, esto se debe a que el tiempo de regeneración de estos recursos es largo comparado con el ritmo de su explotación. El uso de leña sobre todo en regiones rurales se debe a su bajo costo, pero también al difícil acceso a combustibles fósiles debido a sus altos precios.

> Por lo tanto, el requerimiento diario de combustibles no debe ser minimizado cuando se le considera causa de deforestación. No es inusual para una familia tener que pasar la mayor parte del día reuniendo leña para su casa. A veces recorren docenas de kilómetros para conseguir este recurso (Nystrom, 1988, Citado por: Rodríguez y Preston, s.f.: s. p.).

Aunado a esto, el biol es un elemento importante para la productividad agrícola, ya sea a nivel traspatio o parcela su incorporación a los cultivos mejora el rendimiento y se traduce en ahorros para los productores.

> El biol agregado al suelo provee materia orgánica que resulta fundamental en la génesis y evolución de los suelos, constituye una reserva de nitrógeno y ayuda a su estructuración, particularmente la de textura fina. La cantidad y calidad de esta materia orgánica influirá en procesos físicos, químicos y biológicos del sistema convirtiéndose en un factor importantísimo de la fertilidad de estos. La combinación de estos efectos resultará en mejores rendimientos de los cultivos que sean producidos en ese suelo.

La capacidad de fertilización del biol es mayor al estiércol fresco y al estiércol compostado debido a que el nitrógeno es convertido a amonio (NH_4), el cual es transformado en nitratos (Sistema biobolsa, 2014).

3.2 Principales biodigestores en el medio rural

El uso de biodigestores en zonas rurales ha generado oportunidades para el desarrollo de actividades cotidianas debido a la fácil conversión del biogás en energía térmica, eléctrica o mecánica, promoviendo equidad y autosuficiencia energética y mejorando el rendimiento de los cultivos, por lo tanto, los biodigestores deben cumplir las siguientes características para garantizar su óptimo desempeño.

A) Características del digestor:

a) Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.

b) Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.

c) Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.

d) Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.

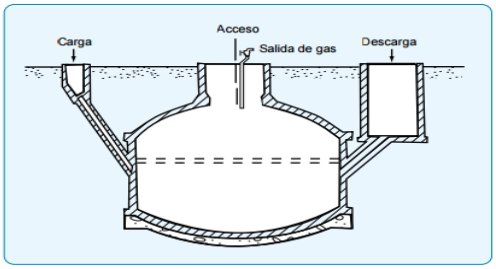
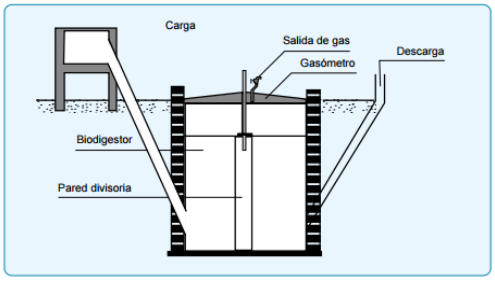
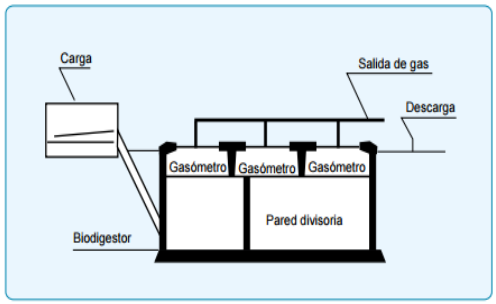
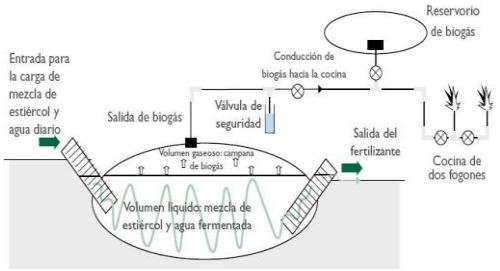
e) Tener acceso para el mantenimiento.

f) Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

B) Tipos de biodigestores. Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos: (Varnero, 2011).

De acuerdo con la bibliografía existente, se presentan los tipos de biodigestores con sus características básicas y su esquema, con el fin de dar una idea de las presentaciones de esta ecotecnia.

Cuadro 7. Tipos de biodigestores: características y modelo

Tipo de Biodigestor	Características	Modelo
Chino	Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados (FAO, 1986). Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.	 Modelo Chino
Indiano	Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación (Hilbert y Eppel, 2007). El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores.	 Modelo Indiano
Horizontal	Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en "V". Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m^3, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.	 Biodigestor Horizontal
Taiwán	Los biodigestores tubulares de bajo costo son la adaptación más barata del modelo Taiwanés (Pound *et al*, 1981) desarrollado por Preston y colaboradores (Botero and Preston, 1987; Bui Xuan *et al*. 1994) a finales de los 80´s. Este modelo fue adaptado al clima frio de la región Andina en Bolivia y Perú, a pesar de que en este diseño solo se hace uso de calentamiento solar pasivo (Martí-Herrero, 2007; Poggio *et al*., 2009). Estos digestores tienen un reactor tubular hecho de polietileno tubular doble (Lansing *et al*., 2008; Martí-Herrero, 2011), sin embargo, el polietileno es reemplazado por PVC o geomembrana en algunos países como: México, Colombia, Ecuador, Costa Rica y Perú.	 Biodigestor modelo Taiwán **Fuente:** Ecocosas, 2011

Fuente: Varnero Moreno M.A., 2011. Pp. 98-100 Modelos Chino, Indiano y Horizontal. El modelo Taiwán es en base a Martí-Herrero, *et al*, 2015: 74).

Cuadro 8. Otras características (ventajas y desventajas) de los biodigestores

Modelo	Otras características
Chino	En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones de 99 hasta 100 cm de columna de agua. Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú (Varnero Moreno, 2011:98-99).
Indiano	La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia prima, posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente. Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digestor por día (Varnero Moreno, 2011:100).
Horizontal	Su configuración alargada impide que la carga líquida inicial y el efluente se mezclen; esto lo hace útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado, tales como excremento humano y ciertos desperdicios de sacrificio de animales (González E., 2011).
Taiwán	Estos biodigestores se colocan semienterrados dentro de una fosa, dejando la campana de almacenamiento de biogás visible. Una de las principales ventajas de un biodigestor de polietileno (BDP), comparado con otros modelos de digestores, es el bajo costo de instalación y mantenimiento (Xuan An *et al*., 1997b; Botero *et al*., 2000). Además, los materiales usados en la instalación del BDP son normalmente encontrados sin dificultades en zonas rurales y tienen la ventaja de ser de bajo peso (Botero *et al*., 2000; Aguilar, 2001a). (Martí Herrero, 2015). Dichas características contribuyen a la aceptación de la aplicación de esta ecotecnia en unidades productivas tanto a pequeña como mediana escala.

Fuente: Varnero Moreno M.A., 2011. Pp. 98-100: Modelos Chino, Indiano y Horizontal. Martí-Herrero, *et al*, 2015: 74. Modelo Taiwán. González E., 2011: 7.

Los biodigestores anteriormente descritos presentan ciertas desventajas, siendo estos los materiales utilizados, el costo y el rendimiento, no todos muestran eficiencia en cuanto a la producción de biogás, pero si en obtención de biol, esto se relaciona con el tipo de alimentación y los tiempos de retención, mismos que varían de acuerdo al modelo implementado y las condiciones de temperatura de la región.

De acuerdo a la experiencia de Xuan, *et al*,1997, en zonas tropicales los modelos de la India (también conocido como Gobar) y el modelo Chino han tenido problemas por la aparición de grietas en el concreto usado para construir estas unidades, especialmente durante periodos largos de altas temperaturas. Impulsado por la intención de resolver estos problemas, el Dr. T.R. Preston desarrolló un sistema de biodigestor utilizando polietileno, en vez de cemento, como material esencial en su instalación.

A continuación, se presenta la comparación que se realizó con la finalidad de apoyar la selección del biodigestor a construir, siendo los principales criterios, los productos que se obtienen, escala de uso, vida útil de los materiales utilizados y su facilidad de instalación, por lo que el biodigestor Taiwán mostró cumplir con los criterios planteados.

Cuadro 9. Comparación de modelos de biodigestores

Tipo de alimentación	**Modelo**	**Producto**				**Escala**	**Vida útil del material**		
		Bg	Ba	Biol	D	G. E.	C	M	L
Continuo	Chino	B	A		X			x	
	Taiwán	A	B	A	X				x
Semicontinuo	Indiano	A	A			x		x	
	Horizontal					x		x	

(B: bajo, A: alto) (C: corta, M: mediana, L: larga) (Bg: biogás, Ba: Bioabono) (D: doméstica, G.E.: gran escala)

Fuente: Elaboración propia a partir de Varnero, 2011

3.3 Consideraciones sobre ventajas

La producción de biogás y su evaluación representan un campo complejo en el que se podrían comparar numerosos factores, debido a que sus beneficios son diversos no solo en sentido de obtención de energía y biofertilizante, también en reducción de impactos ambientales, mejora de las condiciones de vida y mejora en la productividad del suelo. Por lo que en sentido estricto es difícil cuantificar los ahorros generados a partir de la implementación de esta ecotecnia, por lo tanto, es importante mencionar los beneficios que influyen en la dimensión social siendo determinantes para la aceptación y participación de los productores.

> Hilbert (2007) menciona que existen factores que se deben tener en cuenta al realizar la evaluación económica de la implementación de ésta tecnología, pues pueden resultar limitantes en muchos lugares. Estos son:
>
> • Recolección de las materias primas, transporte y acondicionamiento.
>
> • Almacenamiento del biogás, transporte y uso
>
> • Almacenamiento del efluente, transporte y uso (Varnero, 2011).

3.4 Estimación de costos

Las ventajas que presenta un biodigestor tipo Taiwán (polietileno) comparado con otros modelos de biodigestores son el bajo costo de los materiales, el bajo costo de instalación, no representa un gasto excesivo el reemplazo de los materiales en caso de ser necesario y al ser de uso común, estos pueden ser adquiridos fácilmente. Debido a las razones anteriores se seleccionó el biodigestor de bajo costo, el cual se comparó con modelos comerciales.

Cuadro 10. Comparación con biodigestores comerciales (escala doméstica)

	Biodigestor construido (3.53m^3)	**Biodigestor rotoplas (3m^3)**	**Biodigestor biobolsa (Bbt-4)**
Beneficios	Biogás Biol Biosol	Tratamiento de agua	Biogás Biol Biosol
Participación social	Máxima	Mínima	Mínima
Costo	$1785	$29,181.55	$25,000

Fuente: Elaboración propia a partir de rotoplas y biobolsa comparado con el biodigestor construido

3.5 Biodigestor seleccionado

Basado en la comparación anterior se seleccionó el biodigestor Tipo Taiwán para su aplicación en la comunidad de San Lorenzo Chiautzingo, debido a su bajo costo, la disponibilidad de los materiales y que esta ecotecnia puede ser apoyada y replicada por los productores.

3.5.1 Ubicación del biodigestor

El biodigestor se ubicó y construyó en el traspatio de la familia bajo sus condiciones y referencias, en un lugar que no interfiriera con las actividades cotidianas en este espacio, pero cercano a la cocina para la utilización del biogás y del invernadero en el que se producen plántulas de chile y jitomate, esto dependiendo de la época del año, para lo cual se utiliza el biofertilizante obtenido por medio de biodigestión anaerobia (Figura 17). Es importante precisar que se buscó cumplir con las condiciones de asoleamiento para mantener de manera natural una temperatura relativamente

constante, esto por ser una zona de clima frío en temporada de invierno. Sin embargo, hubo problemas en este aspecto por el invierno frío que se presentó en 2016.

Figura 17. Área asignada para la instalación del biodigestor

3.5.2 Criterios de selección basados en las tres dimensiones de la sustentabilidad

Para la selección del biodigestor, se revisaron las dimensiones de la sustentabilidad y de esta forma se establecieron indicadores básicos que muestran la bondad de la ecotecnia, que, aunque no se aplicaron estrictamente, sirvieron de guía para el trabajo. Para la evaluación de la sustentabilidad de la ecotecnia, se necesitaría observar la operación del biodigestor al menos durante un año, de otra manera no es posible evaluar los indicadores, inclusive algunos de ellos (por ejemplo, el de salud), se requeriría de años para poderse comprobar. La aplicación de los indicadores de sustentabilidad, además, debía hacerse antes de la construcción del biodigestor y una vez que estuviera en funcionamiento, pero como ya se indicó, durante un periodo de un año o más; objetivo difícil de realizar porque se rebasa el tiempo de esta tesis.

Dimensión ecológica

La utilización de leña para llevar a cabo procesos cotidianos comúnmente con fines energéticos sobre todo en áreas rurales genera gran impacto sobre los bosques locales.

> De acuerdo con Osei, (1993). El uso de leña representa el 54% de deforestación en países en desarrollo. A nivel mundial la deforestación es responsable del 17 – 25% de todas las emisiones antropogénicas (Strassburg, *et al*, 2009), convirtiéndolo en una de las principales causas del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la deforestación juega un papel importante en la erosión del suelo y desertificación (Gautam, Baral, Herat, 2009). Katuwal y Bohara (2009), estimaron que anualmente un biodigestor a nivel doméstico ahorra la quema directa de 3 toneladas de leña y 576 kg de estiércol eliminando como consecuencia 4.5 toneladas de emisiones de CO_2 a la atmósfera (Citados por Surendra, 2014).

Por lo tanto, la reducción en el uso de leña sobre todo en países en desarrollo por medio de la sustitución de biogás puede significar una importante reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como la reducción de presión sobre los recursos forestales. Aunado a esto se lleva a cabo el manejo del residuo, reduciendo su tiempo de exposición y emisiones al aire libre, así como la disminución del tiempo de contacto del ganado y de los productores con los patógenos que éste de manera natural posee.

Dimensión social

La recolección de leña tiene mayor impacto en la salud de mujeres y niños tanto por la acción de recolectar como por la exposición de ambos a las emisiones generadas por su combustión en el momento de preparar alimentos.

> En la mayoría de los países en desarrollo mujeres y niños son responsables de la recolección de leña y estiércol, ambas tareas exhaustivas, por ejemplo, las mujeres y los niños en algunos lugares viajan más de 5 km y pasan cerca de 6 horas por día reuniendo biomasa y cocinando (Topa *et al*., 2004; Liua *et al*., 2008). Además, el trabajo es pesado y puede generar dolor de espalda y cuello, así como otros dolores físicos (Gautam, *et al*, 2009). Debido a estas significativas demandas de tiempo y trabajo mujeres y niños son privados de oportunidades de educación y otras actividades. (Katuwal y Bohara, 2009) (Citados por Surendra, 2014).

Las emisiones generadas por combustión de leña causan afectaciones a la salud, en esta dimensión la biodigestión anaerobia puede ser un factor que disminuya la exposición sobre todo en áreas rurales.

> El aire contaminado al interior de las viviendas crea problemas respiratorios como EPOC (enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, por ejemplo, bronquitis crónica o enfisema), problemas de irritación en ojos y cataratas; además, se aumenta el riesgo de neumonía y otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores. El uso del carbón duplica el riesgo de cáncer de pulmón, en particular en las mujeres. Por otra parte, algunos estudios han vinculado la exposición al humo en el interior de las viviendas con asma, tuberculosis, resultados adversos en el embarazo, en particular bajo peso al nacer, cardiopatía isquémica, enfermedad pulmonar intersticial y cáncer nasofaríngeo y laríngeo. Se sabe que estas partículas pueden causar inflamación de las vías respiratorias y los pulmones y deteriorar la respuesta inmunitaria (Naranjo F., 2010).

Dimensión económica

En esta dimensión se pretende que la incorporación de un biodigestor al traspatio represente reducción de gastos familiares, así como la estimación de los beneficios derivados de la aplicación del proceso de biodigestión anaerobia, estos se cuantifican desde la construcción del biodigestor hasta la fase de obtención de productos con valor agregado los cuales influyen tanto a nivel doméstico (biogás) como a nivel productivo (biol y biosol).

> Los Beneficios Económicos Totales constituyen un concepto que incluye beneficios directos y valores funcionales derivados de la adopción de una nueva tecnología. Los beneficios directos incluyen, por ejemplo, gastos no incurridos en la compra de otros combustibles convencionales, gracias al uso de biogás y del efluente del biodigestor. Valores funcionales incluyen el potencial de la tecnología para disminuir impactos ambientales causados por otras fuentes convencionales de energía (Aguilar y Botero, 2006).

El método aplicado para la valoración monetaria (términos económicos) es el de costos evitados, descrito por: Pearce (1993), Turner *et al*. (1994), Edwards-Jones *et al*. (2000), Russell (2001), entre otros. (Citados por Aguilar y Botero, 2006).

3.5.3 Materiales y métodos

Tabla 3. Costo del material utilizado para construir un biodigestor Tipo Taiwán

Material	**Precio $ (pesos)**
2 tubos de PVC 75 a 100 cm de longitud (diámetro 6')	73 c/uno =146
Conexión PVC (hembra y macho) diámetro interno 12.5mm	5 c/uno = $10
4 m de tubo de PVC de 12.5 mm	52
1 codo de PVC de 90º y diámetro 12.5 mm	2
3 conexiones de PVC "T" de 12.5mm de diámetro	3 c/ uno = $9
1 tubo de pegamento para PVC	18
Manguera de PVC 12.5 mm	160
20 m de polietileno tubular (0.5 m de radio) cal 600	230
Malla para cercar 1 rollo de 20 m	858
Parrilla de 2 quemadores	300
Material residual:	
1 botella de PET transparente	
Limadura de hierro	
Cámaras de llanta	
2 rondanas de plástico de 10 cm de diámetro externo y diámetro interno de 12.5 mm	
2 rondanas de caucho de 10 cm de diámetro externo y diámetro interno de 12.5mm	
Recursos locales:	
Madera, bambú	**Total:** 1785

Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de medir los beneficios en las tres dimensiones de sustentabilidad se construyeron indicadores que, de manera general, muestran una aproximación del desempeño de la ecotecnia. Aunque ya se especificó su no aplicación estricta en este trabajo.

Cuadro 11. Indicadores de sustentabilidad de la ecotecnia por dimensión

Indicadores por dimensión		
Ecológica	**Económica**	**Social**
Uso de leña	Gasto en compra de gas	Participación en la ecotecnia
Uso de gas L.P.	Gasto en compra de leña	Reducción de trabajo
Manejo de residuos	Autosuficiencia energética	Riesgo de enfermedades
Producción de lixiviados		Nuevas capacidades
Conservación e integración de biodiversidad		Satisfacción de los sujetos

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen brevemente los indicadores:

De la dimensión ecológica:

- Uso de leña: se refiere a la cantidad de kilos de leña utilizados en la cocción de alimentos
- Uso de gas L.P.: se refiere al uso de cilindros de gas, lo que muestra las tendencias de consumo de este hidrocarburo
- Manejo de residuos: cantidad de residuos manejados adecuadamente
- Producción de lixiviados: cantidad de residuos ganaderos tratados por medio de biodigestión anaerobia
- Conservación e integración de biodiversidad: disminución del uso de leña y uso de excretas del ganado

De la dimensión económica:

- Gasto en compra de gas L.P.: Se refiere al gasto que representa la adquisición de un cilindro de gas
- Gasto en compra de leña: implica el costo que representa la adquisición de leña
- Autosuficiencia energética: disminución en la dependencia de combustibles tradicionales

De la dimensión social:

- Participación en la ecotecnia por parte de los actores: indica si los productores participaron en la ecotecnia o no

- Reducción de trabajo: se mide en jornadas de trabajo que se dejaron de realizar para consecución de leña
- Riesgo de enfermedades: Exposición a humo
- Nuevas capacidades: Uso de biol y construcción de un biodigestor
- Satisfacción de los sujetos: Beneficios generales de la ecotecnia para la productividad del traspatio

3.5.4 Cálculos necesarios para el dimensionamiento del biodigestor

Para definir el tamaño apropiado del biodigestor fue necesario conocer las condiciones locales: producción de residuo, disponibilidad de agua, tipo de suelo, clima.
Conocer la cantidad de residuo obtenido diariamente es importante porque es la materia de alimentación del biodigestor, de acuerdo a las necesidades de manejo del residuo ganadero y a la frecuencia de producción del mismo, el biodigestor se dimensionó para dar tratamiento diario a 20 kg de excreta de vaca y 60 litros de agua, por lo tanto, el volumen obtenido fue de 3.53 m^3, por lo que se realizaron los siguientes cálculos:

Ecuación 1. Volumen del biodigestor (m^3): $\boldsymbol{V} = \boldsymbol{\pi} * \boldsymbol{r^2} * h$

Donde:

$\boldsymbol{V}$: es el volumen

$\boldsymbol{\pi}$: es una constante con un valor de 3.1416

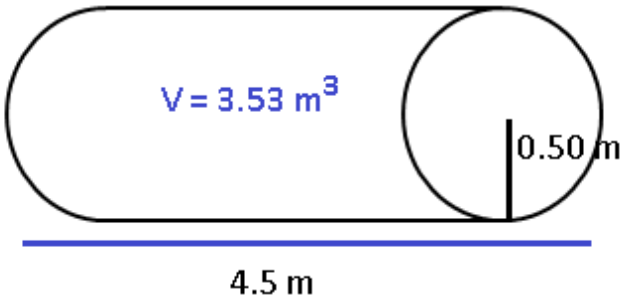
$\boldsymbol{r}$: es el radio del polietileno tubular utilizado, en este caso (1 m)

h: es la altura o longitud del biodigestor

Aplicando la fórmula tenemos:

$\boldsymbol{V}$ = 3.1416 * (0.50m) ^{2} * 4.5 m **$\boldsymbol{V}$ = 3.53 $\mathbf{m^3}$**

3.5.5 Diagrama



3.6 La construcción del biodigestor en San Lorenzo

Es importante remarcar, aunque parezca insistente, además de los pasos técnicos que se tuvieron que cubrir y que se describen brevemente en este apartado, la relevancia de la participación de los integrantes de la familia dueña del traspatio, en la construcción del biodigestor. Aspecto estratégico, porque la difusión de esta ecotecnia depende de la apropiación que haya hecho esta familia, cuya capacitación permitirá que la difundan con sus vecinos.

3.6.1 Pasos para la construcción de un biodigestor modelo Taiwán

El sitio fue asignado por la familia Arroyo Pérez para la construcción del biodigestor en el traspatio, se contó con la participación de ellos para la preparación de la fosa en la que se colocó el biodigestor, la fosa se excavó de 1 m de ancho por 4.5 m de largo y 80 cm de profundidad para ser usado como soporte del biodigestor, fue necesario adquirir polietileno tubular calibre 600 y 0.50 m de radio (Ver figura 18), dicho material contiene filtro UV, por lo que el sol no lo degrada fácilmente, aspecto que prolonga su vida útil.

Figura 18. Preparación de la fosa para la colocación del biodigestor a), Polietileno tubular b)

Para evitar que el polietileno se rasgue y se produzcan fugas o deterioro del material, este se coloca en dos capas para la construcción del cuerpo del biodigestor, este paso se realizó rápidamente atando uno de los extremos del polietileno interno y pasándolo hacia el extremo final del polietileno externo. Y se elaboraron las conexiones de salida de biogás (Ver figura 19). En este paso se muestran los adaptadores macho y hembra (medida ½") respectivamente, así como 2 rondanas de caucho y 2 de plástico rígido que miden 10 cm de diámetro y cuentan con diámetro interno de ½", comercialmente es difícil conseguir rondanas con estas medidas y características de rigidez, por lo que lo recomendable es fabricarlas a partir de material residual, este puede obtenerse reutilizando diversas fuentes, las rondanas internas (de caucho) pueden fabricarse de cámara de llanta y las rondanas de plástico rígido pueden obtenerse de cubetas que ya no se usen.

Figura 19. Colocación doble del polietileno a), Materiales adaptados para la salida de biogás b).

Para adaptar las conexiones, fue necesario perforar el polietileno a un metro de uno de los extremos, esto se hizo calentando un tubo de ½" para evitar que el orificio excediera la dimensión de las conexiones y garantizar así que no existirán fugas durante la operación del biodigestor, se muestra la parte externa de la salida de biogás ya conectada al polietileno (Ver figura 20).

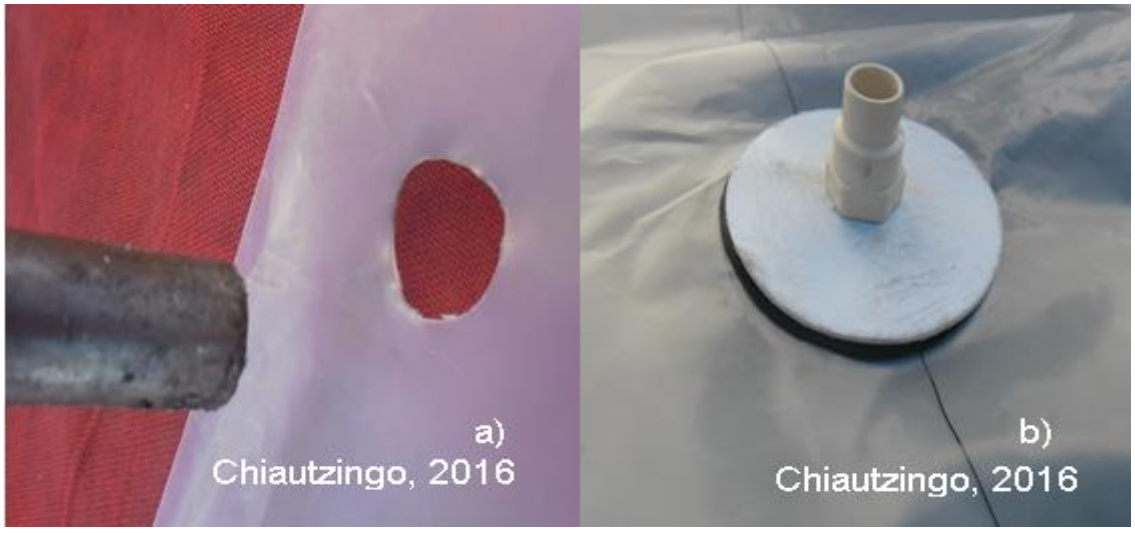


Figura 20. Preparación del polietileno para la salida de biogás a), Adaptación de la salida de biogás b).

La preparación de la fosa consistió en colocar en el fondo hule espuma para evitar que las piedras rasguen el polietileno, se muestra el soporte colocado para sostener la bolsa de almacenamiento, mismo que fue realizado por la familia utilizando madera,

recurso local, se muestra la bolsa de almacenamiento de biogás, así como los tubos de admisión de excreta y salida de biofertilizante (ver figura 21).

Figura 21. Preparación de la fosa a), Biodigestor y bolsa de almacenamiento de biogás b)

Para evitar que el ganado o aves de corral dañen la instalación del biodigestor, fue necesario cercar con malla ciclónica como se muestra en la figura 22.

Figura 22. Cerca perimetral del biodigestor a), Biodigestor, soportes y cerca perimetral b)

La alimentación del biodigestor es realizada diariamente por la familia Arroyo Pérez, se introduce al biodigestor excreta y agua en proporción 1:3, es decir, la cantidad definida como alimentación es de 20 kg de excreta (proveniente de ganado bovino y porcino) y 60 L. de agua, para facilitar esta tarea se utiliza un embudo, alimentar diariamente el biodigestor es una actividad relevante.

Se muestra la bolsa de almacenamiento, ésta tiene la función de acumular el biogás producido y evitar el exceso de presión en el domo del biodigestor (Ver figura 23 b), la bolsa de almacenamiento tiene una capacidad aproximada de 0.78 m^3.

Figura 23. Entrada para alimentación del biodigestor a) Bolsa de almacenamiento de biogás b).

La válvula de seguridad tiene el objetivo de dejar escapar el exceso de biogás, para su colocación se utiliza comúnmente una botella de PET llena de agua, es necesario mantener siempre el nivel de agua de la botella, esta se colocó entre dos llaves de paso.

Figura 24. Válvula de seguridad y llaves de paso a), Biodigestor operando con alimentación constante b).

Durante el proceso, fue necesario hacer modificación en la profundidad de la fosa, debido a que el calentamiento solar no era el óptimo, la profundidad final es de 40 cm, como se muestra en la figura 24 b), en la cual se observa el biodigestor en las condiciones finales de operación.

Una vez concluida la construcción del biodigestor (06 de noviembre de 2016) se alimentó hasta el 75% de su capacidad (aprox. 2.64 m^3), tomándose esta fecha como referencia para el tiempo de arranque (inicio de producción de biol y biogás).

3.7 Algunos problemas enfrentados y logros no esperados en el proceso de aplicación de la ecotecnia

3.7.1 Problemas

La construcción del biodigestor propuesto en la tesis enfrentó algunos problemas que pudieron impedir la realización del trabajo, entre ellos:

El problema del lugar, ya que inicialmente se había escogido una localidad en la que se expresaron algunas limitaciones, la inexistencia de ganado, por lo que la familia tenía que comprar excreta, pero el transportarla diariamente hasta su traspatio les dio la percepción de que la ecotecnia más que beneficios les traería complicaciones al tener que conseguir el estiércol, pagarlo y alimentar diariamente el biodigestor. Otro aspecto que limitó el desarrollo del proyecto con ellos fue el acceso al agua, mismo que es bastante limitado en su comunidad por lo que el proyecto en la zona no era viable. Esto significo que rechazaran participar en la generación de esta ecotecnia, representando una pérdida de tres meses para el desarrollo de la tesis, que se habían dedicado a su convencimiento y en los que no se obtuvo resultado. Esto se indica, porque es parte del trabajo y problemas de investigación y que los replicadores de la ecotecnia deben considerar en el proceso. Siendo esta una ecotecnia que de preferencia se debe replicar en zonas ganaderas y/o agrícolas y en el que el acceso al agua es un aspecto fundamental.

El problema del clima que se presentó en el lugar de aplicación, influyó en el aumento del tiempo de arranque ya que aun contando con ganado, por lo tanto, producción de estiércol y acceso al agua, además de una familia plenamente dispuesta a participar, el tiempo de inicio de producción de biogás se alargó, en los meses de noviembre, diciembre y enero ya con el biodigestor construido, se presentó un clima frío que, estamos seguros, afectó la producción de biogás, con el consecuente retraso de cinco meses en el trabajo experimental. Lo anterior obligó a realizar modificaciones en la profundidad de la fosa, se revisaron fugas, hasta que durante el mes de mayo hubo resultados en biogás.

3.7.2 Logros

Así como hubo problemas, señalamos algunos logros, planeados, pero no esperados.

Si bien se planeó la obtención de biol y bioabono, estos se obtuvieron desde los inicios de la operación del biodigestor, pero lo más importante fue su aplicación por parte de la familia en sus cultivos de invernadero y en la parcela ejidal.

En el caso de la parcela, se fertilizarán los cultivos que en ella se produzcan a lo largo del año.

Otro logro, fue el referente al ahorro económico debido a la utilización del biol obtenido, dinero que hubiera sido dispuesto para la compra de fertilizantes químicos.

En el caso de piezas que requerían elaboración, específicamente las rondanas que sirven para la salida de biogás, tanto las elaboradas con plástico como las elaboradas con caucho requieren precisión para la obtención de las medidas adecuadas, esto implica seleccionar materiales para su óptimo desempeño. Además, estas piezas presentan como ventaja que no implican un gasto, por lo tanto, los costos finales por concepto de adquisición de material de construcción se consideran asequibles.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del traspatio

El primer resultado obtenido fue la caracterización del traspatio de la familia Arroyo Pérez, que complementa lo descrito en el capítulo dos, en los aspectos vinculados con la construcción y operación del biodigestor, en especial cantidad de ganado y generación de excretas.

El componente vegetal de este traspatio es amplio, cuenta con frutas, hortalizas y plantas medicinales, la caracterización se realizó durante el otoño, por lo que en ese momento los productos existentes fueron: jitomate producido en invernadero, calabaza, productos estacionales como flor de cempasuchil y el más importante en la economía de este traspatio: “el chile”, siendo las principales variedades producidas: chile poblano, chile de árbol y una especie endémica: chile loco.

Actualmente la familia posee los siguientes tipos de ganado en su traspatio: ganado bovino, porcino, ovino, conejos y aves de corral; la cantidad adquirida ha dependido de las necesidades, el espacio y la fuerza de trabajo que requieren en las actividades que desarrollan tanto en traspatio como en sus parcelas. Cada especie fue cuantificada, Debido a que sus excretas cuentan con potencial para su incorporación a procesos de biodigestión, por lo que también se cuantificó la cantidad total generada al día, a partir de estos datos se eligieron las excretas de ganado bovino y porcino como alimentación del biodigestor, estos datos se obtuvieron por entrevista, observación directa y observación documentada.

Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.

Tabla 4. Caracterización del componente animal existente en el traspatio y la cantidad de residuos generados por día

Componente animal	Animales	Excreta generada (kg/día)
Ganado bovino	8	64.0
Ganado porcino	3	7.5
Ganado ovino	10	15.0
Conejos	100	40.0
Aves de corral	30	6.0
Total	**151**	**132.5**

Fuente: Elaboración propia (observación directa y entrevista al Ing. Arroyo Pérez)

4.1.1 Caracterización de la alimentación del componente animal

A continuación, se presenta la caracterización de la alimentación del ganado porcino y bovino el cual es semi estabulado, la excreta de ambos se incorporó como alimentación del biodigestor, por lo tanto, esta influye en el desempeño del proceso. Como se muestra en el cuadro 12 y 13, la alimentación que se suministra al ganado se hace reincorporando los residuos que se generan de las actividades agrícolas, la tendencia de producción ganadera dentro de este traspatio es de tipo orgánico, por lo que se busca la producción sustentable y saludable, por medio de la reducción de contaminación, mejorar la salud del ganado y sus condiciones de vida, en la alimentación que la familia refirió suministrar no se encontraron sustancias o medicamentos (antibióticos/complementos alimenticios) que pudieran provocar inhibición del proceso de biodigestión, esto fue importante saberlo con previo a la construcción del biodigestor.

Ya que de acuerdo con Varnero}, 2011, algunas sustancias presentes en el sistema pueden causar inhibición.

> Estas pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaerobios. Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro

> y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado. (Varnero, 2011).

Cuadro 12. Caracterización de la alimentación suministrada al ganado bovino

Cantidad de agua	60 L c/u
Alimentación	Forraje, zacate de maíz, grano de maíz, rastrojo, avena seca, grano de avena, alfalfa verde, pastoreo
Medicamentos/complementos	Sales minerales (esporádicamente)

Fuente: Elaboración propia (observación directa y entrevista al Ing. Arroyo Pérez)

Cuadro 13. Caracterización de la alimentación suministrada al ganado porcino

Cantidad de agua	10 L c/u
Alimentación	Grano de maíz, grano de haba, alfalfa verde, calabaza de castilla
Medicamentos/complementos	Desparasitantes (cada medio año)

Fuente: Elaboración propia (observación directa y entrevista al Ing. Arroyo Pérez)

En este traspatio no se suministran antibióticos al ganado, por lo tanto, este no es un elemento que pudiera generar inhibición del proceso de biodigestión. Debido a que los antibióticos son sustancias químicas producidas por diferentes especies de microorganismos que suprimen el crecimiento de otros microorganismos y pueden, eventualmente, destruirlos (Cancho, 2000). Las bacterias metanogénicas al ser parte importante de la producción de biogás al estar en contacto con antibióticos serían parcial o totalmente afectados, mermando el rendimiento del proceso.

> La cantidad de bacterias puede variar por factores ambientales o dietarios, y cuando estos dos parámetros se mantienen, las variaciones derivan de factores específicos de cada animal, tales como: tiempo destinado a la rumia, cantidad de saliva segregada, consumo de agua y capacidad de avance de la digesta (Blanco, 1999:1).

Por otro lado, se menciona como sustancias inhibidoras que: los pesticidas y desinfectantes presentes en algunos subproductos también pueden llegar a afectar el proceso según su concentración (Agrowaste, s.f.). Estos podrían derivarse de manera no intencional de procesos propios del traspatio.

4.2 Alimentación del biodigestor y beneficios obtenidos

La carga del biodigestor se realizó diariamente en proporción 1:3 (excreta/agua) e inició el día 7 de noviembre de 2016 y continuó hasta agosto de 2017 para el reporte de resultados de esta tesis, pero el proyecto continuará siendo parte de las actividades de los productores.

4.2.1. Producción de biol

El biol es la fracción liquida resultante del fango proveniente del biodigestor. Este "fango" es decantado o sedimentado obteniéndose la parte líquida a la cual se le llama "biol". Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma en biol (Aparcana, 2008).

Figura 25. Biol obtenido

El biol se obtuvo por medio del siguiente proceso: al llegar el biodigestor al 75% de su capacidad, es decir, aproximadamente 2.6 m^3 (10 de enero de 2017), se obtuvo el primer lote de biol, (24 de febrero de 2017), es decir a los 45 días de operación, obteniéndose 200 L/semana, hasta el 31 de agosto de 2017, la producción aproximada de biol fue de 5400 L, mismos que son utilizados con frecuencia para la fertilización

de 350 000 plántulas de chile, (Ver figura 26). El biol es aplicado por los productores en proporción 1:1 biol/fertilizante comercial a los cultivos tanto en invernadero como en parcela, siendo estos diversos a lo largo del año. De esta manera los costos derivados de fertilización disminuyeron 50%, siendo este un factor que beneficia económicamente a la familia involucrada.

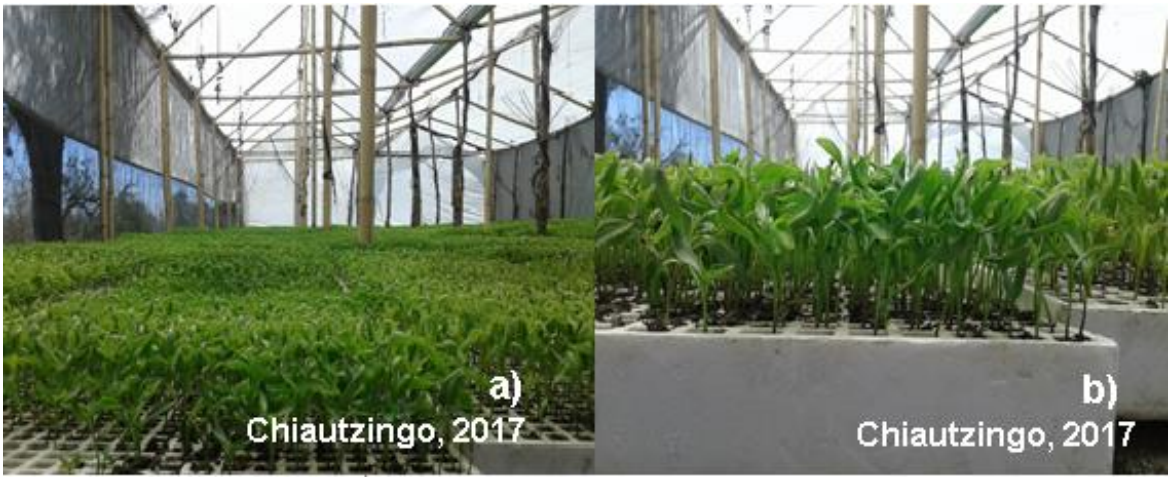


Figura 26. Plántulas de chile a), Fertilización de chile en invernadero b)

4.2.2. Caracterización del biol obtenido

La caracterización del biol se realizó con la finalidad de conocer las condiciones de operación del biodigestor y las condiciones del biofertilizante, lo cual podría dar a los productores la certeza de aplicar el biol en los cultivos existentes.

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5. Resultados de los análisis químicos realizados a muestras de biol, comparados con biol Casablanca

	Biol obtenido	**Biol Casablanca***
pH (Potencial de hidrógeno)	6.70	8.2
C.E. (Conductividad eléctrica) dS/m	3.01	15.3
Ca (mg/L)	265.3	220.4
Mg (mg/L)	15.3	53.4
Na (mg/L)	42.0	542
K (mg/L)	485.0	6760
N (mg/L)	35.0	980
P (mg/L)	37.7	121

*Biol Casablanca, Citado por Siura y Dávila, 2008.

Los resultados muestran que el biol obtenido mantuvo un pH más cercano a la neutralidad que el biol Casablanca, lo cual se considera adecuado, siendo el pH óptimo del suelo entre 6 y 7.

En el caso de medidas en soluciones acuosas, el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad.

El biol obtenido deriva solo de excreta bovino/porcino y agua en proporción 1:3, el biol Casablanca consta de excreta, agua, leguminosa picada, generalmente alfalfa, en proporción del 5% respecto al peso total de biomasa a biodigestarse y la adición de ½ libra de levadura (226.796 g) por cada 200 litros; por lo que éste muestra mayores cantidades de macronutrientes respecto al biol obtenido.

De acuerdo con Aparcana, (2008), la composición del biol depende del tipo de materia que se determina como alimentación del biodigestor. Se puede decir que cada biol es “único”. Además, la aplicación de biol a los diversos cultivos demuestra ventajas no solo en el aspecto económico sino también en cuanto al rendimiento de los mismos.

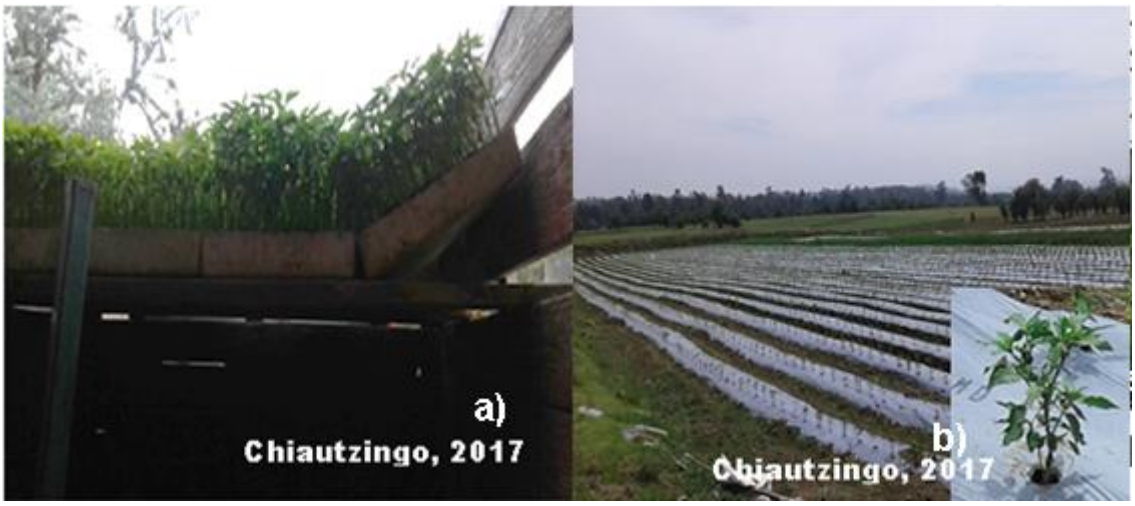


Figura 27. Transporte de plántulas de chile a parcela a), Fertilización incorporando biol en parcela b).

El principal uso de biol es como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces y frutos, gracias a la producción de hormonas vegetales, las cuales son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de este tipo de fermentación anaerobio (que no se presenta en el compost). Estos beneficios hacen que se requiera menor cantidad de fertilizante mineral u otro empleado (Aparcana, 2008).

4.2.3 Rendimiento de biol

El biol dentro del invernadero se utilizó para la fertilización de 350 000 plántulas de chile en charola, llevándose a cabo este proceso semanalmente, por un tiempo aproximado de 3 meses, las plántulas al adquirir una longitud de 20 cm fueron trasplantadas a la parcela familiar, en esta etapa, la familia continua fertilizando con biol por medio de riego, la extensión dedicada a la producción de chile es de una hectárea y de acuerdo a la información proporcionada por los productores, cada planta genera 1 kilo de chile.

Gomero (2000), propone que el biol favorece al enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), actúa sobre el follaje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traduciéndose todo esto en un aumento

significativo de las cosechas. Debe utilizarse diluido en agua, en proporciones que pueden variar desde un 25 a 75 por ciento.

4.2.4 Producción de biogás

Durante el proceso se evitó la adición de reactivos o inóculos, que pudieran acelerar la producción de biogás, esto con el objetivo de probar la efectividad y rentabilidad de la biodigestión anaerobia aplicada en traspatio en condiciones reales y evitando generar costos excesivos.

El domo del biodigestor se llenó a partir del día 29 de marzo de 2017, iniciando la producción de biogás al día 78 de operación.

La temperatura de operación en la que inició la producción de biogás fue de 25. 5º C ± 2º, es decir, las condiciones locales propiciaron un rango de temperatura mesófilo.

> Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaerobios: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μmax) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura (Varnero, 2011).

En la tabla 5 se muestra la relación entre la temperatura y los días aproximados de fermentación, es decir, el tiempo de arranque del proceso de biodigestión, la alimentación del biodigestor se empezó a suministrar en época invernal, lo que pudo influir en el tiempo de fermentación, el cual, se encuentra entre el rango psicrófilo y mesófilo.

Tabla 6. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaerobia

Fermentación	Mínima ºC	Optimo ºC	Máximo ºC	Tiempo de fermentación
Psicrófila	4-10	15-18	20-25	Sobre 100 días
Mesófila	15-20	25-35	35-45	30-60 días
Termófila	25-45	50-60	75-80	10-15 días

Fuente: Lagrange, 1979, Citado por Varnero, 2011.

Por lo tanto, al tratarse de un sistema biológico, la temperatura de operación influye en el proceso, los cambios bruscos lo desestabilizan, en nuestro caso suponemos que las bajas temperaturas en época otoño-invierno inactivaron a los microorganismos metanogénicos presentes en las excretas de ganado.

4.2.5 Productividad de biogás

Los periodos de producción de biogás han sido cortos (aprox. 5 días). El tiempo mínimo registrado para que se llenara la bolsa de almacenamiento fue de 10 días, lo cual indica que el proceso de biodigestión continúa, pero hasta el momento este no ha sido suficiente para uso doméstico.
Para evitar fugas se reemplazó la bolsa de almacenamiento, (9 de julio) y 10 días después se obtuvo producción de biogás (19 de julio), (Ver figura 28 b).

El factor que pudo influir en la disminución del rendimiento fue la diferencia de temperaturas (máx. y min.) siendo la variación promedio de temperatura (max. y min.) de 36 ± 1.5 a 15 ± 2, aún en meses de primavera-verano, al tratarse de un sistema biológico estos cambios afectan a las bacterias metanogénicas en su desempeño, no se aplicó ningún mecanismo que brindara temperatura constante, por lo que este factor dependió de las condiciones locales.

Figura 28. Reemplazo de bolsa de almacenamiento a), Producción de biogás b)

A continuación, se muestra la dinámica de producción.

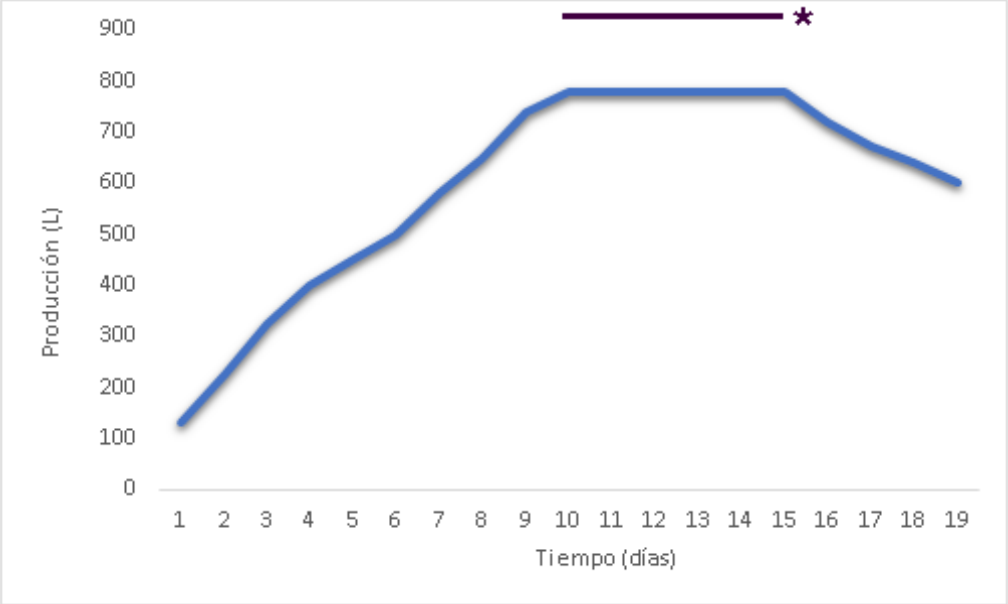


Figura 29. Dinámica de producción de biogás, Chiautzingo, 2017
Fuente: Elaboración propia
*Sistema Biobolsa, s.f.

La determinación de la cantidad de metano en el biogás obtenido se realizó de manera cualitativa, por medio de prueba de la flama, la cual resultó positiva e indica la presencia de metano de manera predominante, esta ha sido reportada por Kepler (2009) > 50%, (mientras que Díaz, *et al*, 2009) reporta 60% de CH_4 y 40% CO_2, las variaciones reportadas se deben al tipo de alimentación del biodigestor y condiciones de operación, pero la presencia de metano confiere características como combustible al biogás (Ver figura 30 a).

Figura 30. Prueba de la flama a), Parrilla instalada para uso de biogás b)

En el caso de contar con producción constante de biogás durante el mes, de acuerdo con datos de Sistema biobolsa (s.f.) a partir de la cantidad suministrada de sólidos (20 kg) se obtienen los siguientes beneficios: producción de biogás: 0.9 m^3/día (900 L/día), lo cual brinda energía 2 horas/día y representa el equivalente a gas L.P. de 11 (kg/mes), en nuestro caso la producción de biogás fue 13.33% menor, ya que la cantidad máxima obtenida fue de 780 L/día.

En la dimensión económica la estabilización de la producción de biogás se traduciría en costos evitados por aproximadamente $165 al mes, debido a que el precio de gas L. P. en la región 105 (Puebla) es de $15.00 Kg.

En la dimensión ambiental por medio del uso de biogás, el cual en promedio consta de 50% CH_4, se evitaría la emisión a la atmósfera de 11,700 L_{CH_4}/mes.

Por otro lado, la proporción agua/excreta utilizada indicó ser un factor que permitió la estabilidad del pH mismo que se mantuvo en 6.80 ± 0.20 durante la operación del biodigestor, por lo tanto, no se requirió la adición de $CaCO_3$ para mantener constante el pH.

Martí-Herrero, 2008, menciona en este sentido que:

> En biodigestores de flujo continuo es muy recomendable que el estiércol vaya diluido con agua para evitar azolves en la superficie. En el caso de estiércol de ganado, una mezcla de 1:3 es la ideal.

Para alimentar el biodigestor no se realizó tratamiento físico de la muestra (molienda), como lo menciona (Weiland, 2000): Una reducción de tamaño de los desechos sólidos a partículas de 10 a 40 mm es necesaria para lograr una mejor accesibilidad biológica y con mejor flujo de sustrato en el proceso (Rivas, *et al*, 2010). Sin embargo, dicho proceso implicaría mayor tiempo de trabajo y costos de operación. En este sentido, (Varnero, 2011), menciona que:

> Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En el caso de estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Tampoco se aplicó un mecanismo que generara agitación, Ya que los sistemas mecánicos para realizar la agitación en reactores medianos o grandes son bastantes caros (Pascual, 2011). Este factor representa alto costo y no sería rentable, pero influye en la producción de biogás y sería importante evaluar la pertinencia de su incorporación.

4.3 Costo del biodigestor y su construcción

Otro resultado obtenido fue el bajo costo que representa la construcción del biodigestor en comparación con los biodigestores comerciales, debido a que el construido representa el 6.11% respecto al costo del biodigestor marca rotoplas y el 7.14% respecto al costo del biodigestor marca biobolsa. El costo indicado permitió la construcción de un biodigestor tipo Taiwán basado en un diseño modificado y adaptado, dado que los manuales no cubren todos los aspectos importantes de construcción, operación y producción. Al cual se incorporaron también materiales de reúso y materiales locales.

4.4 Elementos sociales que permitieron la adopción de la ecotecnia representada por el biodigestor

En este ámbito pudimos constatar que la aceptación del proyecto por parte de la familia Arroyo Pérez fue un factor determinante para el desarrollo del mismo, previamente se contó con la opción de incluir biodigestión anaerobia a traspatios ubicados en el estado de Veracruz y en establos lecheros en el estado de Tlaxcala, pero finalmente fue la familia Arroyo Pérez la que mostro interés y disposición para la ejecución de este proyecto.

El conocimiento de los beneficios que se derivan de esta ecotecnia por parte de la familia Arroyo Pérez fueron otro factor importante, ya que al contar con ecotecnias precedentes en el traspatio, tenían la experiencia de que a partir de inversión baja se pueden obtener beneficios económicos a mediano y largo plazo, reducir el tiempo de algunos procesos y reducir impactos al ambiente.

En este traspatio se puede hablar de apropiación debido a que el modelo de biodigestor implementado puede ser fácilmente replicado, además, el trabajo de alimentar y monitorear el biodigestor continúan, desde la construcción hasta este momento la participación de la familia productora ha sido constante, realizando modificaciones necesarias como se mencionó anteriormente a la fosa del biodigestor, colaborando en monitoreo de fugas y efectuando pruebas de flama, la ejecución de estas tareas se ha culminado debido a la comunicación, los saberes de la familia y el trabajo en equipo.

Por otro lado, el bajo costo de la ecotecnia ha permitido que otras personas de la zona muestren interés por conocer más acerca del funcionamiento y los beneficios de la biodigestión, principalmente en el rubro de obtención de biol, debido a que es un elemento conveniente para los productores.

CAPITULO V CONCLUSIONES

En la caracterización del traspatio se determinó la alta productividad del componente vegetal, durante el año se obtienen diversos cultivos para su comercialización, elemento que aporta beneficios económicos a sus habitantes y brinda productos suficientes para autoconsumo.

El componente animal de acuerdo con los resultados consta de un total de 151 animales, que generan 132.5 kg/día de excreta, cantidad que podría manejarse en su totalidad por biodigestión anaerobia, disminuyendo así, su tiempo de exposición, así como los consecuentes impactos al ambiente y a la salud de los habitantes.

La caracterización de la alimentación del ganado bovino y porcino mostró que la base de la alimentación son los restos del componente vegetal de la producción del traspatio y la parcela, por otro lado, no se detectaron inhibidores de producción de biogás ya que la familia refirió no suministrar medicamentos (antibióticos), ni complementos al ganado.

La producción de biol fue suficiente para fertilizar las plántulas de chile tanto en invernadero como en parcela, la adquisición de fertilizante comercial disminuyó, el costo evitado por este concepto fue de 50%, por lo tanto, la obtención de biol ha sido clave para la continuidad del proyecto y será aplicado a lo largo del año a los diversos cultivos.

La producción de biogás al ser intermitente indica que sería necesario realizar modificaciones tanto en la alimentación del biodigestor como en construcción y ubicación, considerar la adición de inóculo para incrementar la carga orgánica, en cuanto a ubicación buscar la más cercana a la cocina y que en esta el biodigestor siga recibiendo calentamiento solar, el modelo de biodigestor construido representa un costo accesible y esto contribuye a su replicación, pero es importante agregar mecanismos para mejorar el rendimiento.

Los elementos sociales que influyeron en la ejecución del proyecto fueron: los beneficios en las tres dimensiones de la sustentabilidad que la ecotecnia aporta, el

bajo costo de construcción fue un componente que permite replicar la ecotecnia, así como la accesibilidad a los materiales, a la participación y disposición de la familia Arroyo Pérez también se asocian los saberes y el reparto de tareas que ellos tienen instituido por lo que el trabajo no recaía en una sola persona, en cuanto a satisfacción de los sujetos debido a la ecotecnia el biol fue el elemento que ha generado ahorro en producción agrícola.

RECOMENDACIONES

Para incrementar el rendimiento del biogás es necesario considerar las condiciones de temperatura del lugar y reemplazar el material del cuerpo del biodigestor por un material de mayor calibre que sirva como aislante, en este caso se considera geomembrana pero su costo es alto comparado con el polietileno tubular, por lo tanto, se debe evaluar la relación costo-beneficio.

Como alimentación del biodigestor se pueden incorporar residuos de frutas y vegetales, agua con mayor carga orgánica procedente de los establos e inóculo, para mejorar la calidad del biol.

Es necesario considerar mecanismos de molienda previa de la alimentación del biodigestor en caso de agregar residuos de frutas y vegetales, ya que a menor tamaño de partícula es menor el tiempo de degradación, se debe considerar en caso de ser necesario un mecanismo de agitación que no represente costo excesivo.

LITERATURA CITADA

AGROWASTE, (s.f.). DIGESTIÓN ANAEROBIA, LIFE, CTC, CSIC y AGRUPAL. Consultado el: 15 de Diciembre de 2016
Recuperado de: http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf

AGUILAR F. X., BOTERO R., (2006). Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo, Tierra Tropical, 2 (1): 49-59. Consultado el: 15 de Diciembre de 2016
Recuperado de: tierratropical.org/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=14

APARCANA, (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación anaeróbica" para producción de biogás, Consultado el: 20 de Diciembre de 2016, Recuperado de: http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf

BLANCO M.R., (1999). Bacterias ruminales, Fisiología digestiva y manejo del alimento, Consultado el: 20 de Diciembre de 2016, Recuperado de: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/69bacterias_ruminales.pdf

BOTERO R. Y PRESTON T. R., (1987). Biodigestor de bajo costo. Para producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Colombia. 1987, Cali, Colombia, Consultado el: 20 de Diciembre de 2016, Recuperado de: CIPAV; http://www.utafoundation.org/publications/botero%26preston.pdf].

XUAN A., RODRÍGUEZ L., SARWATT S. V., PRESTON T. R. y DOLBERG. F., (1997). Installation and performance of low-cost polyethylene tube biodigesters on small-scale farms. World Animal Review Number 88 FAO Rome. (Inglés). Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/AGA/agap/frg/feedback/war/W5256t/W5256t06.htm#TopOfPage

CÁCERES D. M. (1993). Peasant Strategies and Models of Technological Change. A case of Study from Central Argentina. A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Master of Philosophy in the Faculty of Economic and Social Studies. Institute for Development Policy and management. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2006/2006-t012-a008.pdf

CANCHO G., B., GARCÍA F., M. S., SIMAL G., J., (2000). El uso de los antibióticos en la alimentación animal: perspectiva actual Ciencia y Tecnología Alimentaria [en línea]. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=72430206 ISSN 1135-8122

CONEVAL, (s.f.) Medición de la pobreza. Glosario. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Glosario.aspx

CONEVAL, (2014). Porcentaje, número de personas y carencias promedio por indicador de pobreza, Puebla, 2010-2014. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Puebla/Paginas/pobreza-2014.aspx

ECOCOSAS, (2011). Biodigestor, Consultado el 25 de Noviembre de 2016, Recuperado de: https://ecocosas.com/energias-renovables/biodigestor/

FIRCO-SAGARPA, (s.f.). Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México. Consultado el 16 de Diciembre de 2015. Recuperado de: http://ecotec.unam.mx/Ecotec//wp-content/uploads/Diagnostico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf

FRESSOLI M., (2014). Hacia una agenda de promoción para las ecotecnologías en México. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: https://stepsamericalatina.org/hacia-una-agenda-de-promocion-para-las-ecotecnologias-en-mexico/

GLIESSMAN, *et al*., (2007). Citado por: González Ortiz, Floriberto, Pérez Magaña, Andrés, Ocampo Fletes, Ignacio, Paredes Sánchez, Juan Alberto, & de la Rosa Peñaloza, Patricia. (2014). Contribuciones de la producción en traspatio a los grupos domésticos campesinos. Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 22(44), 146-170. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572014000200006&lng=es&tlng=es.

GOMERO, L. (2000). Los biodigestores campesinos una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos. (en línea). Consultado el: 20 de Febrero de 2017, Recuperado de: http://www.leisa.info/index.php?url=getblob.hp&o_id=75455&a_id=211&a_seq=0

GONZALEZ E., (2011), Diseño y fabricación de un prototipo para la producción de biogás. Consultado el 16 de Diciembre de 2015. Recuperado de:

http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2281/Tesis.pdf?sequence=1

HERNANDEZ S. R., FERNANDEZ C. C., BAPTISTA L. M. P., (2010), Metodología de la investigación, Quinta edición. Consultado el 16 de Diciembre de 2015. Recuperado de: https://docs.google.com/file/d/0B7qpQvDV3vxvWFk3YkltMTJxb3M/preview

INAFED, (2015). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, Estado de Puebla, Chiautzingo. Consultado el 16 de Diciembre de 2015. Recuperado de: http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21048a.html

INEGI, (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Chiautzingo, Puebla, Clave geoestadística: 21048. Consultado el 16 de Diciembre de 2015. Recuperado de: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21048.pdf

INEGI, (s.f.). Información por entidad, clima, Puebla. Consultado el 16 de Diciembre de 2015. Recuperado de: http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21

JAVI, V., (2006), Actualizaciones al concepto de tecnología apropiada, avances en energías renovables y medio ambiente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES, Vol. 10.

KEPLER, (2009), ¿Por qué basta con un digestor en las plantas de biogás? alto rendimiento según Rotaler Modell (RM), Rotaller Modell. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: https://es.scribd.com/doc/69059530/Biodigstor-HIDROLIZADO

LEYVA GARCÍA, M. I. (2011). Dinámica económica y uso de servicios financieros en los hogares rurales de San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Tesis para obtener el grado de maestría en Posgrado de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. COLPOS. Campus Puebla. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/540/Leyva_Garcia_MI_MC_EDAR_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LONDRES (Pseudónimo de integrantes). (s.f.). Biodigestor: alternativa energética. Trabajo presentado en la Feria de las Ciencias UNAM. (No localizado en memorias). Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria20/feria254_01_biodigestor_alternativa_energetica.pdf

MARTÍ-HERRERO J., et al, (2015). The influence of user´s behavior on biogas production from low cost tubular digesters: A technical and socio-cultural field analysis,

Energy for sustainable development 27, 73-83. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082615000393

MARTINEZ P. M. C., PIOQUINTO G. JUAREZ N. E., (2015), Consumo de leña: Reto económico o ambiental, 2º. Congreso AMICA, BUAP, s. p.

NARANJO F., (2010). La problemática de la salud, en relación con las cocinas de leña en áreas rurales a nivel mundial, Éxito empresarial, Cegesti, Hacia la Sostenibilidad-Towards Sustainability, No. 123, pp. 1-2. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_123_130910_es.pdf

ONU, (2016). Objetivos de Desarrollo Sostenible, 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

ORTIZ M. J. A., MASERA C. OMAR R., FUENTES G. ALFREDO F. (2014). La ecotecnología en México, UNAM, México. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://ecotec.cieco.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/La-Ecotecnolog--a-en-M--xico-ENE-2015-BR.pdf

ORTIZ M. J.A., MALAGÓN G. S. L. Y MASERA C. O. R. (2015). Ecotecnología y sustentabilidad: Una aproximación para el Sur Global, Interdisciplina 3, no. 7, 193-215. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/5239

OXFAM, (2017). Una economía para el 99%. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/file_attachments/bp-economy-for-99-percent-160117-summ-es.pdf

PASCUAL F.J., (2011), Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la Universidad Autónoma de Chapingo, Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://dima.chapingo.mx/contenido/tesis2011/tesisPascual.pdf

PÉREZ AVILÉS, RICARDO, HERNÁNDEZ ZEPEDA J SANTOS, SILVA GÓMEZ SONIA E. (2015). El traspatio campesino e indígena en Puebla: fortaleza para la conservación de la naturaleza y la soberanía alimentaria. México. Fomento editorial BUAP. ISBN 978-607-487-927-8. Páginas 126. Edición en formato digital.

PNUD, (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/corporate/sustainable-development-goals-booklet.html

POPULATION CITY (2017), Mundo población 1800-2100, Consultado el: 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: http://poblacion.population.city/world/

RIVAS SOLANO, OLGA; FAITH VARGAS, MARGIE; GUILLÉN WATSON, ROSSY. (2010), Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad Tecnología en Marcha, Vol. 23, N.° 1, P. 39-46, Recuperado de: revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/download/132/131

REITH J.H, WIJFFELS R.H., BARTEN H., (2003). Bio-methane & Bio-hydrogen, Status and perspectives of biological methane and hydrogen production. Recuperado de: file:///C:/Users/rs/Downloads/Bio_methane_and_Bio_hydrogen_2003.pdf

RODRIGUEZ L., PRESTON T.R., (s.f.). Biodigester installation manual, Vietnam, Recuperado de: http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/recycle/biodig/manual.htm

SAGARPA, (s.f.). Subsecretaria de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural, La Granja Ecológica Integral. Recuperado de: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/La%20granja%20ecol%C3%B3gica%20integral.pdf

SCHUMACHER, E. F., (1973), Small is beautiful, Tursen Herman Blume. Recuperado de: http://www.daastol.com/books/Schumacher%20(1973)%20Small%20is%20Beautiful.pdf

SEDESOL, (2013). Catálogo de localidades, Resumen municipal, Municipio de Chiautzingo. Consultado el 21 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=21&mun=048

SEDESOL-CONEVAL, (2011). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social. Chiautzingo, Puebla. Consultado el 12 de Febrero de 2016. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/38004/Puebla_048.pdf

SEMARNAT, (S.F.), Residuos, Consultado el: 24 de Octubre de 2017. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

SEMARNAT, (2010). Compendio de estadísticas ambientales 2010. Consultado el: 12 de Enero de 2016. Recuperado de: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet1bdcb.html

SEMARNAT, (2015). Registro Nacional de Emisiones (RENE). Consultado el: 15 de Agosto de 2016. Recuperado de: http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene-17015

SISTEMA BIOBOLSA, (2014). Consultado el: 15 de Agosto de 2016. Recuperado de: http://sistemabiobolsa.com/que-hacemos/la-tecnologia/.

SIURA S. & DAVILA S. (2008). Effect of green manure rotation, biol and cultivar on the production of organic spinach (Spinacea olearacea). 16th IFOAM. Organic World Congress. Modena. Italy. 4p.

STEINFELD HENNING, GERBER PIERRE, WASSENAAR TOM, CASTEL VINCENT, ROSALES MAURICIO, DE HAAN CEES, FAO, LEAD, (2009). La larga sombra del ganado, Problemas ambientales y opciones, Roma. Consultado el: 15 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf

SURENDRA K.C., TAKARA D., HASHIMOTO A.G., KHANAL S.K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges, Renewable and sustainable energy Reviews, 31, 846-859. Consultado el: 15 de Enero de 2016. Consultado el: 25 de Enero de 2016. Recuperado de: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008290

TOLEDO, (1981). Citado por: González Ortiz, Floriberto, Pérez Magaña, Andrés, Ocampo Fletes, Ignacio, Paredes Sánchez, Juan Alberto, & de la Rosa Peñaloza, Patricia. (2014). Contribuciones de la producción en traspatio a los grupos domésticos campesinos. Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 22(44), 146-170. Consultado el: 15 de Enero de 2016. Consultado el: 20 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572014000200006&lng=es&tlng=es.

TOMASSINO HUMBERTO, FOLADORI GUILLERMO Y TAKS JAVIER., (2005). La crisis ambiental contemporánea. En Guillermo Foladori y Naína Pierri (Coord.) ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable, Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial, México, Miguel Ángel Porrúa, UAZ, Cámara de Diputados LIX Legislatura., Pp. 9-26. Consultado el: 15 de Enero de 2016. Recuperado de: http://www.estudiosdeldesarrollo.mx/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad4.pdf

U.N., (1992), Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Consultado el: 10 de Enero de 2017. Recuperado de: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf

U.N., (1998), Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consultado el: 10 de Enero de 2017. Recuperado de: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf

VARNERO MORENO M.A., (2011), Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, Global environment facility, Manual de biogás, Santiago de Chile. Consultado el: 10 de Enero de 2017. Recuperado de: www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf

XUAN AN, B.; PRESTON, T.R.; DOLBERG, F. 1997. The introduction of low-cost polyethylene tube biodigesters on small scale farms in Vietnam (online). Livestock Research for Rural Development. Volume 9, Number 2. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Cali, CO. Accessed March 10, 2001. Consultado el: 5 de Marzo de 2016. Recuperado de: http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd9/2/an92.htm.

ZARATE, I., (2011), Ecotecnias. Consultado el: 5 de Marzo de 2016. Recuperado de: http://cbtis259ecologia.wordpress.com/2011/06/07/ecotecnias/.