UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Escuela de Arquitectura

APROVECHAMIENTO DEL RECURSO ENERGÉTICO BIOMASA EN LA VIVIENDA RURAL DE LA CIUDAD DE LOJA

Tesis previa a la obtención del título de Arquitecto

Autor: Cristian André Balcázar Arciniega

Director: Arq. Ramiro Correa

Loja- Ecuador

2009

CESIÓN DE DERECHOS.

Yo, Cristian André Balcázar Arciniega, declaro conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del estatuto orgánico de la UTPL, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad.”

Cristian André Balcázar Arciniega

CERTIFICACIÓN

Arq. Ramiro Correa
DIRECTOR DE TESIS.

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de investigación, previo a la obtención del título de ARQUITECTO, ha sido dirigido, inspeccionado y revisado en todas sus partes, por lo mismo cumple con los requisitos legales exigidos por la Universidad técnica particular de Loja, quedando autorizada su presentación.

Loja, Mayo de 2009

f)

AGRADECIMIENTO.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja, por haberme permitido recibir una formación espiritual, académica, y profesional para prestar servicios a la comunidad de buena manera.

Al Arq. Ramiro Correa, quien en calidad de director de tesis, aportó su experiencia profesional, técnica e ideas, guiándome hasta la culminación del trabajo investigativo.

DEDICATORIA.

A mis padres, Néstor Balcázar y Linda Arciniega, quienes me han apoyado y formado como persona espiritual, ética y moral ante la vida.
A mis hermanos: Néstor Vinicio, y Karla, quienes siguen esforzándose para ser mejores.

Cristian Balcázar

AUTORIA.

Los conceptos, opiniones, resultados, conclusiones, y recomendaciones vertidos en el presente trabajo de investigación son de exclusiva responsabilidad del autor.

Cristian André Balcázar Arciniega

Tabla de contenidos

Capitulo 1: Energía a partir de desechos orgánicos.

1. Orígenes 1
2. Biomasa. 2
   - 2.1. Aplicaciones de la biomasa 2
   - 2.2. Obtención de combustibles a partir de Biomasa 3
   - 2.3. Características de la Biomasa 4
   - 2.4. Ventajas y Desventajas de la Biomasa 8
3. Biogás 10
   - 3.1. Usos del Biogás 11
   - 3.2. Características del Biogás 12
   - 3.3. Etapas intervinientes 13
   - 3.4. Factores que influyen para producir biogás 14
     - 3.4.1. Temperatura ambiente 15
     - 3.4.2. Temperatura del sustrato 16
     - 3.4.3. Relación Carbono- Nitrógeno 17
     - 3.4.4. PH 18
     - 3.4.5. Tipo de Materia prima 19
     - 3.4.6. Velocidad de carga volumétrica 20
     - 3.4.7. Tiempos de retención (TR) 21
     - 3.4.8. Inclusión de inoculantes 23
     - 3.4.9. Agitación y mezclado 23
     - 3.4.10. Inhibidores 24
   - 3.5. Acondicionamiento del Biogás 24
   - 3.6. Forma de uso del Biogás 25
   - 3.7. Ventajas y desventajas en el uso de Biogás 26

Capitulo 2. Sistema para producir energía a partir de desechos.

4. Biodigestor 28
   - 4.1. Tipos de Biodigestores 28
     - 4.1.1. Carga 29
     - 4.1.2. Intensidad de mezcla 34
     - 4.1.3. Manejo del sustrato 34
     - 4.1.4. Manejo Bioquímico 35
   - 4.2. Funcionamiento del Sistema 36
   - 4.3. Componentes del sistema 37
   - 4.4. Factores a considerar en un biodigestor 41
   - 4.5. Dificultades técnicas de los biodigestores 42
   - 4.6. Mezclas para alimentación del biodigestor 42
   - 4.7. Mantenimiento 44
5. El Efluente 44
   - 5.1. Efecto del efluente sobre el suelo 45
   - 5.2. Aspecto sanitario 45
   - 5.3. Producción de Abono orgánico 46
   - 5.4. Dosis de aplicación 47

Capitulo 3. Proyecto: planta de Biogás.

6. Diseño de la Planta de Biogás. (Cocinar, calefón, motor) 48
   - 6.1. Ubicación del proyecto 48
   - 6.2. Análisis Preliminares 48
     - 6.2.1. Personas por hogar en la ciudad de Loja 49
     - 6.2.2. Clima de la ciudad de Loja 49
     - 6.2.3. Suelos del sector 50
   - 6.3. Capacidad del terreno para albergar ganado 50

6.3.1. Área para cada parcela 51
6.3.2. Cantidad de pastos para pastorear por parcela 52
6.3.3. Cantidad de pastos aprovechados 52
6.3.4. Animales a pastorear en 1 día 52
6.3.5. Animales a pastorear en n días 52
6.3.6. Capacidad de reciclaje de materia orgánica 53
6.3.7. Calculo de la producción diaria de gas 53
6.4. Dimensionamiento de la planta de biogás 54
6.4.1. Volumen de biogás necesario 54
6.4.2. Volumen de biogás Real 56
6.4.3. Cantidad de biomasa necesaria por día 56
6.4.4. Volumen del Digestor 56
6.4.5. Volumen Tanque de Almacenamiento 57
6.5. Zonificación General 58
6.6. Planta de biogás 58
6.6.1. Diagramas de procesos 59
6.6.2. Detalle del digestor 59
6.6.3. Detalle del Gasómetro 61
6.6.4. Tubería, Válvulas, Manómetro, Motor generador 62
6.7. Vivienda 62
7. Dimensionamiento planta de Biogás. (Cocinar, calefón) 78
8. Dimensionamiento de una planta de biogás. (Cocinar) 79

Capitulo 4. Estudio Económico de la planta de Biogás.

9. Análisis económico (planta : cocinar, calefón, motor) 81
9.1. Materiales 82
9.2. Mano de obra 84
9.3. Precio final 86
9.4. Cantidad de GLP y electricidad que vamos a remplazar 87
9.5. Tiempo en que recupero mi inversión 87
10. Análisis económico (planta de biogás: cocinar, calefón) 88
10.1. Materiales 88
10.2. Mano de obra 90
10.3. Precio final 92
10.4. Cantidad de GLP que vamos a remplazar 93
10.5. Tiempo en que recupero mi inversión 93
11. Análisis económico (planta de biogás: cocinar) 94
11.1. Materiales 94
11.2. Mano de obra 96
11.3. Precio fina 98
11.4. Cantidad de GLP que vamos a remplazar 99
11.5. Tiempo en que recupero mi inversión 99

Capitulo 5.

12. Conclusiones 100
13. Recomendaciones 102
14. Bibliografía 103
15. Anexos 106

Tablas.

Tabla 1. Características del estiércol del ganado lechero (Vacuno) 6
Tabla 2. Características del estiércol del ganado carne (Vacuno) 6
Tabla 3. Características del estiércol de cerdos 7
Tabla 4. Características del estiércol de borregos, caballos y aves 7
Tabla 5. Composición del biogás 10
Tabla 6. Características del biogás y su composición 10
Tabla 7. Usos del biogás 11
Tabla 8. Posibles usos y consumo del biogás 10
Tabla 9. Parámetros que gobiernan el proceso de biodigestión 14
Tabla 10. Rendimiento de gas con materiales a distintas temperaturas 15
Tabla 11. Rangos de temperatura para la digestión anaeróbica 16
Tabla 12. Contenido de nitrógeno y relación de C/N en residuos 17
Tabla 13. Efectos del PH en la producción de biogás 18
Tabla 14. Diferentes materias primas para producción de biogás 20
Tabla 15. Energía que podemos obtener del biogás 20
Tabla 16. Tiempos de retención de la materia orgánica 22
Tabla 17. Valores de concentración de inhibidores 24
Tabla 18. Tipos de biodigestores 28
Tabla 19. Mezclas para alimentación del biodigestor 42
Tabla 20. Materiales (planta de biogás: cocinar, calefón, y motor) 82
Tabla 21. Mano de obra (cocinar, calefón, y motor) 84
Tabla 22. Precio final (cocinar, calefón, y motor) 86
Tabla 23. GLP y electricidad a remplazar (cocinar, calefón, y motor) 87
Tabla 24. Recuperación de la inversión (cocinar, calefón, y motor) 87
Tabla 25. Materiales (planta de biogás: cocinar, y calefón) 88
Tabla 26. Mano de obra (cocinar, y calefón) 90
Tabla 27. Precio final (cocinar, y calefón) 92
Tabla 28. GLP a remplazar (cocinar, y calefón) 93
Tabla 29. Recuperación de mi inversión (planta: cocinar, y calefón) 93
Tabla 30. Materiales (planta de biogás: cocinar) 94
Tabla 31. Mano de obras (planta: cocinar) 96
Tabla 32. Precio final (planta: cocinar) 98
Tabla 33. GLP a remplazar (planta: cocinar) 99
Tabla 34. Tiempo en que recupero mi inversión (planta: cocinar) 99

Figuras.

Figura 1. Etapas intervinientes en el proceso de biodigestión 14
Figura 2. Tiempos de retención hidráulica 21
Figura 3. Inclusión de inoculantes 23
Figura 4. Sistema discontinuo o Bach 29
Figura 5. Planta de biogás cúpula fija 30
Figura 6. Planta de biogás campana flotante 30
Figura 7. Planta de biogás cúpula fija y campana flotante 30
Figura 8. Digestor Hindú 32
Figura 9. Digestor Chino 32
Figura 10. Funcionamiento del sistema 36
Figura 11. Filtro de biogás 36
Figura 12. Formas de biodigestores 38
Figura 13. Tipos de Gasómetro 40
Figura 14. Geometría del biodigestor seleccionado 60
Figura 15. Geometría del Gasómetro 61
Figura 16. Armado del Gasómetro 61
Figura 17. Materiales (planta de biogás: cocinar, calefón, y motor) 83
Figura 18. Mano de obra (planta: cocinar, calefón, y motor) 86
Figura 19. Precio final (planta: cocinar, calefón, y motor) 86
Figura 20. Materiales (planta: cocinar, y calefón) 89
Figura 21. Mano de obra (planta: cocinar, y calefón) 92
Figura 22. Precio final (planta: cocinar, y calefón) 92
Figura 23. Materiales (planta: cocinar) 95
Figura 24. Mano de obra (planta de biogás: cocinar). 98
Figura 25. Precio final (planta: cocinar) 98

Planos.

Plano 1. Zonificación General 64
Plano 2. Ubicación de vivienda, planta de biogás 65
Plano 3. Corte del terreno 66
Plano 4. Diagramas de proceso: cocinar, calefón, motor 67
Plano 5. Planta de vivienda 68
Plano 6. Cubierta de vivienda 69
Plano 7. Elevaciones de la vivienda 70
Plano 8. Corte de la vivienda 71
Plano 9. Planta de biogás 72
Plano 10. Corte de planta de biogás y vivienda 73

I. Resumen.

El trabajo define aspectos importantes para el entendimiento de la tecnología biogás; recopila la información necesaria para desarrollar plantas pequeñas en el sector rural; se da a conocer si su aplicabilidad en nuestro país (Ecuador) y provincia (Loja) es real. El análisis se lo realiza en el sentido de condiciones apropiadas para la obtención de biomasa, y biogás, es decir que existan las condiciones: físicas (terrenos aptos para actividades agropecuarias), climáticas, ambientales, y la existencia de ganado para dotarnos de biomasa.

En este sentido se observa que en Ecuador existen problemas ambientales por la alta dependencia energética hacia los combustibles derivados del petróleo que son empleados tanto para cocinar y producir electricidad. Muchos de estos problemas se pueden disminuir reciclando el estiércol del ganado vacuno que es de crianza mayoritaria en el campo, de fácil manejo, y cuya recolección se puede realizar diariamente a través del pastoreo por lotes. Por otro lado las condiciones climáticas en la hoya de Loja no causan mayores dificultades en el proceso de biodigestión.

Para el desarrollo de lo expuesto anteriormente se analizó en primer lugar la cantidad de terreno a disposición para determinar cuántos animales podemos criar, para así saber cuánta biomasa y biogás resultaría, después se comparo este valor con la energía que realmente necesitamos para cocinar a 4 personas, hacer funcionar un calefón (calentar agua en 2 duchas, y el lavadero de la cocina por 1 hora con 40 minutos al día), y hacer andar un motor generador para obtener energía eléctrica a través de cogeneración (funcionamientos de 16 lámparas de bajo consumo por 5 horas). Con este análisis determinamos la viabilidad del proyecto en cuanto a biomasa, para que así tenga valor 0 y sea resultado de reciclaje.

En los 2 primeros capítulos se definen términos como biomasa, biogás, y biodigestor, es decir el recurso, combustible, y la tecnología para aprovecharlo; en el capítulo 3 se desarrolla un proyecto como recurso metodológico para entender que se debe investigar, en cuanto a aspectos sociales, climáticos, suelos, y consideraciones sobre ubicación de la planta de biogás, se concluyo que Loja tiene las condiciones climáticas, existe el ganado y terrenos para obtener biomasa a través de reciclaje; en el capítulo 4 se realizan análisis de viabilidad económica de plantas que sirvan para (cocinar, calefón, y cogeneración), (cocinar, y calefón), y simplemente cocinar, donde se aprecia que la viabilidad económica de un proyecto de biodigestión depende de la durabilidad de la planta, costo final y cuanta energía vamos ahorrar con el sistema.

II. Introducción (Justificación).

La Arquitectura cumple un papel importante en la aplicación de sistemas alternativos de provisión de energía, los arquitectos tienen que buscar alternativas energéticas que consideren al medio ambiente, más aún si existe el recurso energético para producir bioenergías, una de estas que sirve para reciclar desechos generados en nuestra vivienda y producir energía es el biogás, está resulta del aprovechamiento de la biomasa cuyo principal componente es el metano, y cuyo mecanismo de recolección es el biodigestor. Este recurso energético puede ser obtenido en grandes, medianas, o pequeñas plantas, que pueden abastecer energéticamente a viviendas o edificios, la cantidad de energía producida depende de la cantidad de materia orgánica recolectada.

Una de las contribuciones de la arquitectura hacia los problemas energéticos y ambientales puede ser el aprovechamiento de la tecnología biogás, llevado en el sentido de reciclaje de materias orgánicas consideradas como desechos, disminuyéndose la dependencia hacia los combustibles perjudiciales para el medioambiente y subvenciones estatales. En nuestro país existe alta dependencia energética hacia los combustibles fósiles, se cocina con gas licuado (GLP), un porcentaje de la energía eléctrica funciona con motores a combustión. Esta dependencia hacia los recursos contaminantes hace olvidar que existen energías limpias que nos ayuda a reutilizar recursos que día tras día desperdiciamos en especial en el sector rural.

"El sector agrícola en su conjunto, constituye en una fuente importante de contaminación, originándose significativas cantidades de emisión de gases tales como Metano CH4, Monóxido de carbono CO, Oxido nitroso N2O y Oxido de nitrógeno NOX. En Ecuador la población ganadera proyectada a 1999, alcanzaría 54 mil millones de kg/año, volumen que produciría teóricamente alrededor de 3 mil millones de m3 de biogás, equivalente a petróleo en 13 millones de barriles"[1].

Para el desarrollo de la tecnología biogás es necesario contar con una fuente constante de materia orgánica (biomasa), en nuestro país y provincia en el sector rural existe esta fuente al reciclar el estiércol del ganado vacuno cuya crianza es mayoritaria. Esto hace que la construcción de plantas de biogás tomen importancia en cuanto brindan soluciones medioambientales y energéticas, disminuye emisiones de metano a la atmosfera y da una fuente de energía que pueden ser utilizados en lugares donde proveerla es difícil (Vivienda rural).

Según el (INEC) ESPAC- 2007. "*En Ecuador y provincia de Loja, la mayor cantidad de animales en sector agropecuario son el ganado vacuno seguido del porcino. Existen 4´727.104 cabezas de ganado vacuno, y 1´323,08 de ganado porcino; mientras que en la provincia de Loja la cantidad de ganado vacuno alcanza las 352,833 cabezas y 128,802 cabezas de ganado porcino"*

El mantener constante la provisión de biomasa depende de la cantidad de terreno y alimento a disposición. Mientras más terreno apto para la agricultura, más animales se pueden criar, mayor cantidad de biomasa y biogás se tiene, y más energía se puede producir.

Según el (INEC) ESPAC- 2007. "*En Ecuador el mayor uso del suelo en el campo agrícola son los pastos cultivables y naturales que corresponden a*

[1] BASTIDAS F, BUSTAMANTE H, MORALES A, PALACIOS M, ROSERO J. (2000).Evaluación de los Impactos ambientales, económicos y sociales de la implementación de las medidas de mitigación al cambio climático en el sector Energético.

3´623,893 hectáreas (30,62%) y 1¨373.04 hectáreas (11.60%) respectivamente; En Loja existen 137,745 hectáreas para pastos cultivados y 302, 430 hectáreas para pastos naturales".

Por lo expuesto anteriormente, el desarrollo de la tecnología biogás se ajusta a la realidad de nuestro país, provincia y ciudad por la actividad agrícola desarrollada, y disponibilidad de territorios aptos para esto. Se justifica promover la tecnología en el sector rural porque contribuiríamos en reciclar el material orgánico generado por los animales (estiércol) y transformarlo en energía que ayudaría a accionar nuestros artefactos, también disminuiríamos la contaminación atmosférica. El aumento de la actividad agrícola da una fuente fiable de biomasa, se desarrollarían plantas de biogás pequeñas o medianas, que sirven de punto de partida para planes de ordenamiento territorial o urbano, y puede ser un punto de partida para el desarrollo de la llamada arquitectura ecológica.

III. Planteamiento del problema.

Descripción preliminar del objeto de investigación:

En la actualidad existen profesionales cuyos esfuerzos están dirigidos a la búsqueda de soluciones hacía los problemas ambientales que derivan de la obtención de energía, esto se ve reflejado en la arquitectura cuando hablamos del cómo obtener la energía necesaria para el funcionamiento de nuestros edificios. Ecuador es un país donde las actividades agrícolas son intensas, pero donde la principal fuente de energía son los derivados del petróleo, y es casi nula la utilización de energías limpias o bioenergías, teniendo en cuenta que se las puede obtener a través del reciclaje de materia orgánica, como por ejemplo en la vivienda rural a través del reciclaje de estiércoles producido por los animales que se crían. *"Ecuador tiene una marcada participación de los derivados del petróleo (90,6%). La demanda proviene básicamente de los subsectores: transporte (38,3%), residencial (26,4%) e industria (20,5%)"*[2].

El funcionamiento de la vivienda está ligada a la utilización de combustibles fósiles: directamente cuando se prepara alimentos, se utiliza el calefón para el calentamiento de agua; indirectamente en la utilización de energía eléctrica, ya que parte de esta es generada con motores de combustión. El sistema energético biogás nos da muchas posibilidades, como cocinar, hacer funcionar un calefón o producir electricidad a través de cogeneración. El resultado de la biodigestión a más del biogás es el efluente, un buen abono para nuestros huertos, pastos o cosechas.

Problema central.

En la vivienda rural se observa una gran dependencia energética a los recursos derivados del petróleo y un desaprovechamiento de energías renovables que pueden surgir a través del reciclaje de estiércoles que provienen de los animales que se crían.

Problema complementario.

La dependencia a derivados del petróleo trae consigo problemas ambientales como los son las emisiones de CO2 o CH4 (metano) producidas por la producción de energía eléctrica a partir de motores que funcionan con gasolina o cualquier otro derivado del petróleo, y en la agricultura por las emisiones de CH4 a la atmósfera.

[2] COMUNICACIÓN NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2001). Cambio Climático. (en Línea). (Consultado: 4 de Agosto 2008). Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc1s.pdf

IV. Objetivos.

Objetivo general:

Desarrollar una guía de diseño para una planta de biogás en la vivienda rural de la ciudad de Loja, definiendo términos implícitos en esta energía como biomasa, biogás, biodigestor, efluente entre otros; determinando parámetros para su buen funcionamiento, estudiando cuales son las alternativas para desarrollar esta tecnología y analizando su viabilidad económica en nuestro medio.

Objetivos específicos:

1. Dar a conocer que el uso de materia orgánica para producir energía no es nuevo, indicar definiciones importantes de esta tecnología, y señalar factores que intervienen para la producción de biogás.
2. Definir el sistema donde se aprovechará la materia orgánica para generar Biogás y lo que resulta de la biodigestión.
3. A través de un ejemplo establecer la metodología para el dimensionamiento y diseño de plantas de biogás para el sector rural de la ciudad de Loja.
4. Establecer el valor económico de la planta de biogás, analizar cuanta energía convencional podemos sustituir con este sistema, es decir, cuantos cilindros de gas y cuanta energía eléctrica es remplazada, para así determinar su viabilidad económica.

V. Hipótesis.

La gran dependencia a los recursos no renovables, hace olvidar que hay energías limpias que pueden ser resultado del reciclaje del material orgánico generado en nuestras casas o por nuestros animales en nuestras parcelas o lotes. El sistema Biogás es una alternativa aplicable en la vivienda rural de la ciudad de Loja por la disponibilidad de terrenos aptos para la agricultura, condiciones climáticas y por el costo de su implementación.

Capitulo 1: Energía a partir de desechos orgánicos.

La información que se presenta a continuación tiene carácter bibliográfico, las fuentes se citan al final de la investigación. En el siguiente capítulo se abordaran definiciones importantes que ayudan a comprender el funcionamiento del sistema, esta información servirá como base para elaborar un proyecto energético en condiciones apropiadas.

1. Orígenes.

En el año 1.600 varios científicos identifican un gas que proviene de la descomposición de la materia orgánica. En 1890 en India se construye el primer biodigestor a escala real. En 1896 en Exeter (Inglaterra), las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff[3] para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos que intervienen en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Los progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico. Es decir el sistema energético biogás se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

[3] Los tanques imhoff (Karl Imhoff 1876 – 1965) que en su tiempo fue el ingeniero especialista en aguas, más notable de Alemania], por haber concebido el tipo de tanque que se conoce por su apellido. Los tanques Imhoff tienen su propio lugar en el tratamiento primario de las aguas negras, debido a su simplicidad de operación. El tratamiento de las aguas residuales se da de forma anaeróbico (sin aire).

2. Biomasa.

Biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético[4]. La energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de basura industrial, humana o animal.

El valor energético de la biomasa vegetal proviene originalmente de la energía solar a través de la fotosíntesis. La energía química que se almacena en plantas y animales, o en los desechos que producen, se llama bioenergía. Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor.

2.1. Aplicaciones de la Biomasa.

La producción de biocombustibles tales como el etanol y el biodiesel tiene el potencial de sustituir cantidades significativas de combustibles fósiles en varias aplicaciones de transporte. El uso extenso del etanol en Brasil ha demostrado que los biocombustibles son técnicamente factibles en gran escala. La producción de biocombustibles en los EE.UU. y Europa (etanol y biodiesel) está aumentando, siendo la mayoría de los productos utilizados en combustible mezcla, por ejemplo E20 está compuesto por 20% de etanol y 80% de gasolina y se ha descubierto que es eficaz en la mayoría de los motores de ignición sin ninguna modificación.

La electricidad puede ser generada a partir de un número de fuentes de biomasa. La producción de electricidad a partir de fuentes renovables de biomasa no contribuye al efecto invernadero ya que el dióxido de carbono liberado por la biomasa cuando es quemado directa o indirectamente después de que se produzca un biocombustible es igual al dióxido de carbono absorbido por el material de la biomasa durante su crecimiento.

El vapor generado por la biomasa puede utilizarse para accionar turbinas de vapor para la producción eléctrica, ***utilizarse como calor de proceso en una fábrica*** o planta de procesamiento, o utilizarse para ***mantener un flujo de agua caliente.***

Los biogases pueden ser utilizados en motores de combustión interna para accionar turbinas para la producción eléctrica, puede utilizarse para producir calor para necesidades comerciales y domésticas, y en vehículos especialmente modificados como un combustible.

[4]La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, algas y algunas bacterias captan y utilizan la energía de la luz para transformar la materia inorgánica (Agua, Amoniaco, CO2, etc.) de su medio externo en materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos) que utilizarán para su crecimiento y desarrollo.

2.2. Obtención de combustibles a partir de Biomasa.

Hay varias maneras de clasificar los distintos combustibles que pueden obtenerse a partir de la biomasa. Quizás la más pertinente es por el proceso de producción necesario antes de que el combustible esté listo para el uso.

Uso directo. La biomasa empleada sufre sólo transformaciones físicas antes de su combustión, caso de la madera o la paja. Puede tratarse de residuos de otros usos: poda de árboles, restos de carpintería, etc.

Fermentación alcohólica. Se trata del mismo proceso utilizado para producir bebidas alcohólicas. Consta de una fermentación anaeróbica liderada por levaduras en las que una mezcla de azúcares y agua se transforma en una mezcla de alcohol y agua con emisión de dióxido de carbono. Para obtener finalmente etanol es necesario un proceso de destilación en el que se elimine el agua de la mezcla. Al tratarse de etanol como combustible no puede emplearse aquí el método tradicional de destilación en alambique, pues se perdería más energía que la obtenida. Cuando se parte de una materia prima seca (cereales) es necesario producir primero un mosto azucarado mediante distintos procesos de triturado, hidrólisis ácida y separación de mezclas.

Transformación de ácidos grasos. Aceites vegetales y grasas animales pueden transformarse en una mezcla de hidrocarburos similar al diesel a través de un complejo proceso de esterificación[5], eliminación de agua, transesterificación[6], y destilación con metanol, al final del cual se obtiene también glicerina y jabón.

Descomposición anaeróbica. Se trata de nuevo de un proceso liderado por bacterias específicas que permite obtener metano en forma de biogás a partir de residuos orgánicos, fundamentalmente excrementos animales. A la vez se obtiene como un subproducto abono para suelos.

[5] Esterificación es el proceso por el cual se sintetiza un éster. Un éster es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un oxácido y un alcohol.

[6] Transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base. La transesterificación es crucial para producir biodiesel a partir de los aceites vegetales o grasas animales.

2.3. Características de la Biomasa.

En todos estos procesos hay que analizar algunas características a la hora de enjuiciar si el combustible obtenido puede considerarse una fuente renovable de energía:

Emisiones de CO_2 (dióxido de carbono). En general, el uso de biomasa o de sus derivados puede considerarse neutro en términos de emisiones netas si sólo se emplea en cantidades a lo sumo iguales a la producción neta de biomasa del ecosistema que se explota. Tal es el caso de los usos tradicionales (uso de los restos de poda como leña, cocinas de bosta, etc.) si no se supera la capacidad de carga del territorio.

En los procesos industriales, puesto que resulta inevitable el uso de otras fuentes de energía (en la construcción de la maquinaria, en el transporte de materiales, y en algunos de los procesos imprescindibles, como el empleo de maquinaria agrícola durante el cultivo de materia prima), hay que contabilizar las emisiones producidas por esas fuentes como emisiones netas.

En procesos poco intensivos en energía pueden conseguirse combustibles con emisiones netas significativamente menores que las de combustibles fósiles comparables. Sin embargo, el uso de procesos inadecuados (como sería la destilación con alambique tradicional para la fabricación de orujos[7]) puede conducir a combustibles con mayores emisiones.

Hay que analizar también si se producen otras emisiones de gases con efecto invernadero. Por ejemplo, en la producción de biogás, un escape accidental puede dar al traste con el balance cero de emisiones, puesto que el metano tiene un potencial muy superior al dióxido de carbono.

- Tanto en el balance de emisiones como en el balance de energía útil no debe olvidarse la contabilidad de los inputs[8] indirectos de energía, tal es el caso de la energía incorporada en el agua dulce empleada. La importancia de estos inputs depende de cada proceso, en el caso del biodiesel, por ejemplo, se estima un consumo de 20 kilogramos de agua por cada kilogramo de combustible: dependiendo del contexto industrial la energía incorporada en el agua podría ser superior a la del combustible obtenido.

- Si la materia prima empleada procede de residuos, estos combustibles ayudan al reciclaje. Pero siempre hay que considerar si la producción de combustibles es el mejor uso posible para un residuo concreto.

[7] El orujo es un aguardiente obtenido de la destilación del bagazo de la uva.
[8] Inputs: Se refiere a elementos que participan en un determinado proceso productivo.

- Si la materia prima empleada procede de cultivos, hay que considerar si éste es el mejor uso posible del suelo frente a otras alternativas (cultivos alimentarios, reforestación, etc.). Esta consideración depende sobre manera de las circunstancias concretas de cada territorio.

- Algunos de estos combustibles (bioetanol, por ejemplo) no emiten contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas; pero otros sí (por ejemplo, la combustión directa de madera).

En la digestión anaerobia (DA), el nitrógeno (N) gaseoso se trasforma en amoníaco (NH3), y diluido en agua está a disposición de las plantas como nutriente. Un efluente líquido es más rico en nitrógeno y potasio, mientras que otro más espeso, como el obtenido de paja y pasto fermentado es relativamente más rico en fósforo. Balanceando estas características se puede obtener un buen fertilizante.

El análisis de los resultados de la aplicación del efluente como fertilizante no es extrapolable, siendo conveniente basarse en ensayos propios. De todas maneras, datos fiables se pueden obtener después de 3 a 5 años. Con varios años de abono se puede notar un mejoramiento en la estructura del suelo, aumenta la proporción de materia orgánica y le permite almacenar más agua. De ser necesario almacenar el abono habrá que cubrirlo para que el N no se volatilice[9]. Si se sospecha que la digestión está siendo perturbada por sustancias tóxicas, se debe agregar agua o material de fermentación, para así disminuir la concentración.

[9] Volatilice se refiere a transformar un cuerpo sólido o líquido en vapor o gas, por ejemplo: el alcohol se ha volatilizado porque el bote estaba destapado.

Características de estiércoles. Los estiércoles presentan características importantes para ser utilizados en la producción de biogás. A continuación se pone a consideración aspectos que nos permitirán dimensionar nuestra planta de biogás.

Tabla 1.

Características del Estiércol del Ganado Lechero (Vacuno)						
Tamaño del Animal	(lbs)	150	250	500	1000	1400
Producción diaría	(lbs/día)	12	20	41	82	115
	Pies cúbico/día	0.19	0.32	0.66	1.32	1.85
	Galones/día	1.5	2.4	5.0	9.9	13.9
Contenido de Agua	(%)	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3
Densidad	(lbs/Pie cúbico)	62	62	62	62	62
Sólidos Totales	(lbs/día)	1.6	2.6	5.2	10.4	14.6
Sólidos Volátiles	(lbs/día)	1.3	2.1	4.3	8.6	1.7
BOD5 (Demanda biológica de oxigeno)	(lbs/día)	0.26	0.43	0.86	1.7	2.38
Contenido de Nutrientes						
Nitrógeno	(lbs/día)	0.06	0.1	0.2	0.41	0.57
Fosfato	(lbs/día)	0.023	0.045	0.082	0.166	0.23
Potasa (Hidróxido de Potasio)	(lbs/día)	0.048	0.084	0.169	0.325	0.45

Fuente: "Livestock Waste Facilities Handbook," MidWest Plan Service, 2nd edition, MWPS-18 (Fundación para la Investigación de Purdue, West Lafayette, Indiana 47907)

Tabla 2.

Características del Estiércol del Ganado de Carne (Vacuno)						
Tamaño del Animal	(lbs)	500 (226Kg)	750 (340Kg)	1000 (453Kg)	1250 (567 Kg)	Cow
Producción diaría	(lbs/día)	30	45	60	75	63
	Pies cúbico/día	0.5	0.75	1.00	1.20	1.05
	Galones/día	3.8	5.6	7.5	9.4	7.9
Contenido de Agua	(%)	88.4	88.4	88.4	88.4	88.4
Densidad	(lbs/Pie cúbico)	60	60	60	60	60
Sólidos Totales	(lbs/día)	3.5	5.2	6.9	8.7	7.3
Sólidos Volátiles	(lbs/día)	3.0	4.4	6.0	7.4	6.2
BOD5 (Demanda biológica de oxigeno)	(lbs/día)	0.80	1.2	1.6	2.0	1.7
Contenido de Nutrientes						
Nitrógeno	(lbs/día)	0.17	0.26	0.34	0.43	0.36
Fosfato	(lbs/día)	0.127	0.191	0.250	0.318	0.27
Potasa (Hidróxido de Potasio)	(lbs/día)	0.145	0.229	0.289	0.373	0.31

Fuente: "Livestock Waste Facilities Handbook," MidWest Plan Service, 2nd edition, MWPS-18 (Fundación para la Investigación de Purdue, West Lafayette, Indiana 47907)

Tabla 3.

Características del Estiércol de los Cerdos							
Tipo		Cerdo Amamantando	Cerdo en Crecimiento	Cerdo en Finalización	Cerda Gestante	Cerda y Camada	Verraco
Tamaño del Animal	(lbs)	35	65	150	275	375	350
Producción diaría	(lbs/día)	2.30	4.2	9.80	8.90	33.00	11.00
	Pies cúbico/día	0.038	0.070	0.16	0.15	0.54	0.19
Contenido de Agua	(%)	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
Densidad	(lbs/Pie cúbico)	60	60	60	60	60	60
Sólidos Totales	(lbs/día)	0.20	0.39	0.90	0.82	3.00	1.00
Sólidos Volátiles	(lbs/día)	0.17	0.31	0.72	0.66	2.4	0.84
BOD5 (Demanda biológica de oxigeno)	(lbs/día)	0.17	0.31	0.72	0.66	2.40	0.84
Contenido de Nutrientes							
Nitrógeno	(lbs/día)	0.016	0.029	0.068	0.062	0.230	0.078
Fosfato	(lbs/día)	0.0118	0.0223	0.050	0.048	0.173	0.059
Potasa (Hidróxido de Potasio)	(lbs/día)	0.012	0.024	0.054	0.048	0.181	0.061

Fuente: "Livestock Waste Facilities Handbook," MidWest Plan Service, 2nd edition, MWPS-18 (Fundación para la Investigación de Purdue, West Lafayette, Indiana 47907)

Tabla 4.

Características del Estiércol de: Borregos, Caballos y Aves.					
Animal		Borregos	Caballos	Aves Ponedoras	Aves de Engorde
Tamaño del Animal	(lbs)	100	1000	4	2
Producción diaría	(lbs/día)	4.0	45	0.21	0.14
	Pies cúbico/día	0.062	0.75	0.0035	0.0024
	Galones/día	0.46	5.63	0.027	0.018
Contenido de Agua	(%)	75	79.5	74.8	74.8
Densidad	(lbs/Pie cúbico)	60	60	60	60
Sólidos Totales	(lbs/día)	1.00	9.4	0.053	0.036
Sólidos Volátiles	(lbs/día)	0.85	7.5	0.037	0.025
BOD5 (Demanda biológica de oxigeno)	(lbs/día)	0.09	N/A	0.014	0.0023
Contenido de Nutrientes					
Nitrógeno	(lbs/día)	0.045	0.27	0.0029	0.0024
Fosfato	(lbs/día)	0.015	0.105	0.0025	0.00123
Potasa (Hidróxido de Potasio)	(lbs/día)	0.039	0.205	0.0014	0.0009

Fuente: "Livestock Waste Facilities Handbook," MidWest Plan Service, 2nd edition, MWPS-18 (Fundación para la Investigación de Purdue, West Lafayette, Indiana 47907)

2.4. Ventajas y Desventajas de la Biomasa.

Ventajas ambientales:

- Balance neutro en emisiones de CO2 (principal responsable del efecto invernadero). La combustión de biomasa produce CO2, pero una cantidad análoga a la emitida fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento, por lo que la combustión de la biomasa no supone un incremento neto de este gas en la atmósfera.
- Al tener escaso o nulo contenido en azufre, la combustión de la biomasa no produce óxidos de este elemento, causantes de las lluvias ácidas, como ocurre en la quema de combustibles fósiles.
- En el caso de los biocarburantes utilizados en motores, las emisiones contienen menos partículas sólidas y menor toxicidad que las emisiones producidas por carburantes procedentes del petróleo.
- Permite recuperar en las cenizas de la combustión importantes elementos minerales de valor fertilizante, como fósforo y potasio.
- Como una parte de la biomasa procede de residuos que es necesario eliminar, su aprovechamiento energético supone convertir un residuo en un recurso.

Ventajas sociales:

- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Favorece el desarrollo del mundo rural y supone una oportunidad para el sector agrícola, ya que permite realizar cultivos energéticos en sustitución de otros excedentarios.
- Supone creación de puestos de trabajo con el consiguiente ahorro de subvenciones por desempleo y favorece el incremento de la actividad del sector agrario (maquinaria, fertilizantes, técnicos etc.)

Desventajas:

- En naturaleza, la biomasa tiene relativamente baja densidad de energía y su transporte aumenta los costes y reduce la producción energética neta. La biomasa tiene una densidad a granel baja (grandes volúmenes son necesarios en comparación con los combustibles fósiles), lo que hace el transporte y su administración difíciles y costosos. La clave para superar este inconveniente está en localizar el proceso de conversión de energía cerca de una fuente concentrada de biomasa, tal como una serrería, un molino de azúcar o un molino de pulpa.
- La combustión incompleta de la leña produce partículas de materia orgánica, el monóxido de carbono y otros gases

orgánicos. Si se utiliza la combustión de alta temperatura, se producen los óxidos del nitrógeno. En una escala doméstica más pequeña, el impacto en la salud de la contaminación atmosférica dentro de edificios es un problema significativo en los países en vías de desarrollo, en donde la leña se quema ineficazmente en fuegos abiertos para cocinar y la calefacción de ambientes.

- Existe la posibilidad que el uso extensivo de bosques naturales cause la tala de árboles y escasez localizada de leña, con ramificaciones ecológicas y sociales serias. La conversión de bosques en tierras agrícolas y áreas urbanas es una importante causa de la tala de árboles.
- Hay un conflicto potencial por el uso de los recursos de la tierra y del agua para la producción de energía de biomasa y otras aplicaciones, tales como producción de alimentos y de fibras. Sin embargo, el uso de técnicas modernas de producción agrícola representa que hay suficiente tierra disponible para todas las aplicaciones, incluso en regiones densamente pobladas como Europa.
- Algunos usos de la biomasa no son completamente competitivos en esta etapa. En la producción de electricidad por ejemplo, hay fuerte competencia de las nuevas plantas de gas natural, altamente eficientes. Sin embargo, la economía de la producción energética de biomasa está mejorando, y la preocupación cada vez mayor por las emisiones de gas de invernadero está haciendo a la energía de biomasa más atractiva.
- La producción y el proceso de la biomasa pueden implicar un consumo de energía significativa, tales como combustible para los vehículos y los fertilizantes agrícolas, dando por resultado un balance energético reducido para el uso de la biomasa. En el proceso de la biomasa se necesitan reducir al mínimo el consumo de combustibles fósiles, y maximizan la conversión de basura y recuperación de energía.
- A menudo existen restricciones políticas e institucionales al uso de biomasa, tales como políticas energéticas, impuestos y subsidios que animan el uso de combustibles fósiles. Los costos de la energía no reflejan a menudo las ventajas ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

3. Biogás.

Es el gas que se produce mediante un proceso metabólico de la descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno, del aire. Esta descomposición tiene lugar debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de oxígeno:

- Hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados.
- Acetogénicas, productoras de hidrógeno.
- Homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético.
- Metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás.

Tabla 5.

Composición del Biogás.			
Componente	Mínima %	Máxima%	Promedio %
Agua (H2O)	3.62	4.24	3.92
Dióxido de Carbono (CO2)	27.5	15.01	20.85
Ácido sulfhídrico (H2S)	0.1	0.1	0.18
Metano (CH4)	68.78	80.65	75.05
Poder Calorífico Mj/m3	26.84	31.12	29.17
Nota: La presión de salida del biogás es 4 Kpa El poder calorífico del gas natural es de 38.9 Mj/m3			

Fuente: Proyecto de Cogeneración y mecanismo de desarrollo limpio. Ing. Alejandro Romay R.

Tabla 6.

Características del Biogás y sus componentes.					
Características	Ch4	CO2	H2-H2S	Otros	Biogás 60/40
Proporciones	55-70	22-44	1	3	100
Valor Calorífico Kcal/m3	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en el aire	5-15	-	-	-	6-12
Temperatura de Ignición °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión Crítica Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Densidad nominal en g/l	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamilidad Vol en % aire	5-15	-	-	-	6-12

Fuente: Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. - Castelar. Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert.

Como se observa el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 kg/m3. Si deseamos mejorar el valor calórico del biogás debemos limpiarlo de CO2. De esta forma se logra obtener metano al 95 %. El metano presenta una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina.

3.1. Usos del Biogás.

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural, A continuación se resume las posibles aplicaciones.

Tabla 7.

Usos del Biogás	
Aplicación	Producción
Cogeneración	Electricidad y Calor
Quemador estufa infrarroja	Calor
Lámpara	Iluminación y Calor
Motores	Potencia Mecánica

Fuente: Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. - Castelar. Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert.

Tabla 8.

Posibles usos del Biogás y Consumo			
Artefactos	Características	Potencia calorífica Kcal/hora	Consumo de biogás (5500 Kcal/m3/hora de funcionamiento
Cocinas	Quemador chico	1000 -1250	0.18-0.23
	Quemador mediano	1500-1750	0.27-0.32
	Quemador grande	Min: 2000	0.36
Calefones	Caudal de 8lt/min	11500-12500	2.00-2.30
	Caudal de 10lt/min	13250-14250	2.40-2.60
	Caudal de 12lt/min	15250-16250	2.77-2.95
	Caudal de 14lt/min	19500-20500	3.54-3.72
	Caudal de 16lt/min	23500-25000	4.27-4.54

Fuente: Groppeli Eduardo, Programa de tecnología socialmente apropiada (TSA), Fundación PROTEGER y grupo de energía no convencional FIQ-UNL.

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisoria e interesante su utilización a gran escala.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro

lado una desventaja es su baja velocidad de encendido. En los motores de Ciclo Otto[10] el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma del la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil[11] no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original.

La proporción de ácido sulfhídrico (H2S) en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

3.2. Características del Biogás.

El biogás es más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700ºC (Diesel 350ºC, gasolina y propano cerca de los 500ºC). La temperatura de la llama alcanza 870ºC.

Mientras más largo es el tiempo de retención dentro del biodigestor, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%. Con un contenido de metano mucho menor del 50%, el biogás deja de ser inflamable.

El primer gas de una planta recién cargada contiene muy poco metano, por esa razón el gas producido en los primeros 3 a 5 días se debe dejar escapar sin utilizarlo.

[10] Hay dos tipos de motores que se rigen por el ciclo de Otto, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos. Este, junto con el motor diesel, es el más utilizado en los automóviles ya que tiene un buen rendimiento y contamina mucho menos que el motor de dos tiempos.

[11] también denominado gasóleo o diesel, es un líquido de color blancuzco o verdoso y de densidad sobre 850 kilogramos por metro cúbico, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diesel y en calefacción. Cuando es obtenido de la destilación del petróleo se denomina petrodiesel y cuando es obtenido a partir de aceites vegetales se denomina biodiesel

El contenido de metano depende de la temperatura y material de fermentación. Con bajas temperaturas de fermentación se obtiene un alto porcentaje de gas metano, pero las cantidades de gas son menores.

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se haya iniciado hace cincuenta años. Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH4 y CO2.

3.3. Etapas intervinientes.

Fase de hidrólisis. Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) *liberando hidrógeno y dióxido de carbono.* Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

Fase de acidificación. Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético CH3-COOH y *liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.* Esta reacción es endoexergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanógenas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

Fase metanogénica. Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las archibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre. La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y *los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono*. En la (figura 1) se resume las distintas características de cada una de las etapas vistas que por simplificación se han agrupado en dos fases (ácida que involucra la de hidrólisis y acidificación y la metanogénica),

con los principales compuestos químicos intervinientes. Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor.

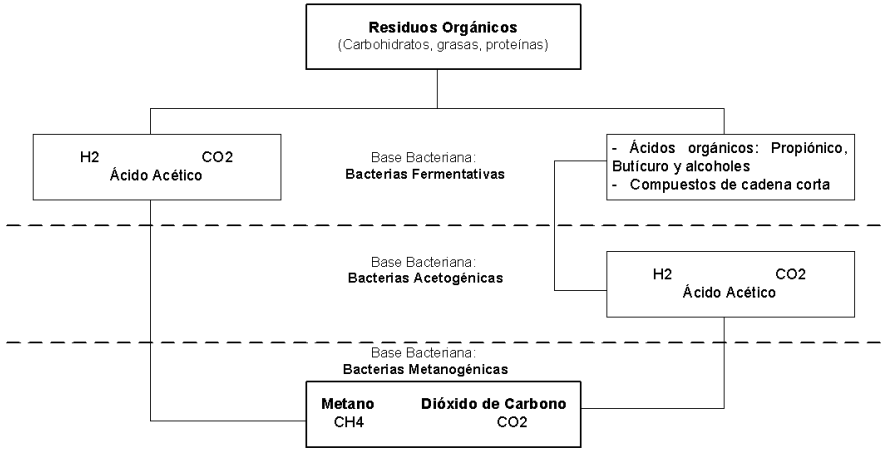


Figura 1: Etapas Intervinientes

De la (tabla 9), se desprende que una alteración en los parámetros de funcionamiento incidirá negativamente sobre la fase metanogénica preponderantemente, lo cual significará una merma importante en la producción de gas y una acidificación del contenido pudiéndose llegar al bloqueo total de la fermentación. Debido a la lenta velocidad de recuperación de las bacterias metanogénicas, la estabilización de un digestor "agriado" será muy lenta, de allí la importancia del cuidado de los parámetros que gobiernan el proceso.

Tabla 9.

Parámetros que gobiernan el proceso de biodigestión	
Fase acidogénica	Fase metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxigeno)	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia del oxigeno)
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva)	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva)
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura	Muy sensible a los cambios de acidez y temperatura
Principales metabolitos, ácidos orgánicos	Principales productos finales: metano y dióxido de carbono

Fuente: Desarrollo y perspectivas de la tecnología biogás en los países subdesarrollados. Dr. Lic. Pedro Julio Villegas Aguilar

3.4. Factores que influyen para producir biogás.

Como todo proceso biológico, la digestión anaerobia debe ser controlada ya que existen diferentes factores que influyen considerablemente en el éxito de la misma. Un desequilibrio en alguno de estos factores puede provocar la ruptura del equilibrio entre las comunidades microbianas y por consiguiente el no funcionamiento del biodigestor de forma adecuada y por consiguiente un inadecuado tratamiento de residuos.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes: el tipo de sustrato (nutrientes disponibles); la temperatura del sustrato; la carga volumétrica; el tiempo de retención hidráulico; el nivel de acidez (PH); la relación Carbono/Nitrógeno; la concentración del sustrato; el agregado de inoculantes; el grado de mezclado; y la presencia de compuestos inhibidores del proceso.

3.4.1. Temperatura ambiente.

El proceso se lleva a cabo satisfactoriamente en dos rangos bien definidos, entre 10°C a 37°C, para la flora Mesofílica y, entre 55°C a 60°C para el rango Termofílica. Para que las bacterias trabajen en forma óptima, se requiere mantener la temperatura lo más constante posible es decir sin bruscas variaciones durante el día. El proceso fermentativo anaeróbico no genera una cantidad apreciable de calor, por lo tanto las temperaturas mencionadas deben lograrse desde el exterior.

El proceso mesofílico es más estable, y más adecuado para utilizar en el medio rural, con biodigestores de pequeño volumen y bajo costo, aptos para una escala familiar, explotaciones tamberas y pequeñas comunas.

La temperatura ambiental es uno de los factores que tiene mayor relevancia en el proceso anaeróbico, ya que define las zonas en donde el proceso puede llevarlo a cabo ya sea por la latitud y/o la altura. También ella es vista como el factor en potencia para aumentar la eficiencia de los sistemas, principalmente cuando de saneamiento se trata (TAYLHARDAT 1989).

La temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión y degradación del material dentro del digestor, la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo, además se incrementa la producción de gas.

Tabla 10.

Rendimiento de gas con materiales empleados comúnmente a distinta temperatura		
Materiales	Mesofílico (35°C)	Ambiente (8-25°C)
Estiércol de cerdo	0.42 (m3/kg)	0.25-0.3 (m3/kg)
Estiércol de vaca	0.3	0.2-0.25
Estiércol de humano	0.43	0.25-0.3
Paja de arroz	0.4	0.2-0.25
Paja de trigo	0.45	0.2-0.25
Pasto verde	0.44	0.2-0.25

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Ing. Guevara Vera Antonio.

Una forma de aumentar la eficiencia del sistema es calentando el efluente, para ello se hace circular agua caliente por un serpentín colocando dentro de la cámara de fermentación, también se utiliza bujías de calentamiento, pero tienen el inconveniente que el calor distribuye uniformemente en el efluente. Finalmente el ciclo digestivo al ser más rápido a altas temperaturas, determina que la capacidad del digestor debe ser mayor a menores temperaturas que a altas temperaturas.

3.4.2. Temperatura del sustrato.

La temperatura no afecta a la producción absoluta de biogás, que depende de las características del sustrato, (Valero 1987) afirma que la temperatura afecta la velocidad de producción de ácidos en el interior del digestor e incluso al rendimiento del proceso. A medida que aumenta la temperatura, también aumenta la actividad metabólica de las bacterias, requiriéndose menor tiempo de retención para que se complete el proceso de fermentación. Si el tiempo de retención es demasiado corto, las bacterias son desalojadas del biodigestor con mayor rapidez de lo que pueden reproducirse, frenando así el proceso.

El intervalo de temperaturas en que se encuentran las bacterias anaerobias en la naturaleza es de 0 a 97°C aunque existen tres rangos de temperatura en donde el crecimiento de la biomasa bacteriana específica encargada de la producción de biogás es máximo. Se ha comprobado que la velocidad de reacción para los microorganismos (las bacterias) aumentan con la temperatura, doblando cada 10°C de aumento, hasta alcanzar la limite (Metcalf-Eddy, 1977).

Tabla 11.

Rangos de temperatura para la digestión anaeróbica				
	Rango de temperatura (°C)		Tempo de retención (días)	
Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo	
Psicrofílica	4-10	15-18	25-30	100
Mesofílica	15-20	28-33	35-45	30-60
Termofílica	25-45	50-60	75-80	10-16

Fuente: Rangos de temperatura en fermentación anaeróbica (Instituto de investigación, porcina, 2003).

La temperatura condiciona la cantidad de energía neta producida o consumida por el sistema, por eso influye en el PH, la alcalinidad, la presión parcial de dióxido de carbona (Lema y Méndez, 1998).

Temperatura Psicrofílica. Varía entre 4°C hasta 30°C. El máximo rendimiento para este rango de temperaturas se logra entre 15 y 18°C. Con temperaturas inferiores a 15°C la producción de gas es independiente de la misma y el rendimiento es bajo.

Temperatura Mesofílica. Se da en un intervalo entre 15 y 45°C. Con un óptimo entre 28 y 33 °C. se ha comprobado que en este intervalo, la producción de gas se aumenta en 1% por cada grado que se eleve la temperatura. No obstante, Muñoz Valero (1987) enfatiza que analizando el balance energético de una instalación y para optimizar la energía neta producida en los digestores, el óptimo mesofilíco se sitúa entre 25 y 30 °C.

Temperatura Termofílica. Se sitúa entre 25 y 80 °C, con un óptimo productivo alrededor de los 50- 60 °C. A temperaturas superiores a estás el balance energético se vuelve desfavorable, ya que el sistema de digestión se vuelve más sensible a pequeñas variaciones de temperaturas y el proceso de control del digestor es más complejo. La digestión Termofílica presenta ventajas en la eliminación de gérmenes patógenos y esporas, por realizarse a una mayor velocidad y porque el proceso requiere un volumen de digestor más reducido.

Baere (1994) logró una producción media de gas de 50% en condiciones termofílicas comprobando con el trabajo mesofílico en un tiempo de retención de 30 días: este tiempo de retención ofrece la oportunidad de medir el efecto de temperatura en condiciones de extrema degradación. Este comparó las condiciones mesofílicas y termofílicas con distintos tiempos de retención. Los resultados indicaron que la operación Termofílica era el 60% más eficiente que la Mesofílica con un tiempo de retención de 30 días.

3.4.3. Relación Carbono- Nitrógeno.

Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y Nitrógeno (N). Si el contenido de este último es muy alto, la reproducción de las bacterias se inhibe debido al valor elevado de alcalinidad. Lo ideal es una relación C/N de 20:1 a 30:1. Relaciones C/N menores, por ejemplo 8:1, inhiben la cantidad bacteriana por excesivo contenido de amoniaco. La concentración de amoníaco en el material de fermentación debe ser menos de 200 mg/L.

La digestión anaeróbica de madera no es técnicamente factible sin algún tipo de pretratamiento que aumente su biodegradabilidad[12].

[12] Se entiende como biodegradale a la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular) y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos. Por ejemplo una botella de vidrio demora 4000 años para descomponerse, en cambio una cáscara de banana de 2 a 10 días.

Tabla 12.

Contenido de Nitrógeno y relación C/N en varios residuos		
Animales	C/N	%N
Desperdicios de pescado	5.1	6.5-10
Desperdicios de matadero	2	7-10
Orina	0.8	15-18
Sangre	3	10-14
Estiércol Equino	25	2.3
Estiércol Vacuno	18	1.7
Estiércol de Corral	14	2.15
Heces Humanas	6-10	5.5.-6.5
Vegetales		
Heno	12	4
Amaranto	11	3.6
Alfalfa	16-20	2.4-3
Paja	48	1.1
Algas Marinas	19	1.9
Restos de Lino	58	1.0
Paja de Trigo	128	0.3
Aserrín	511	0.1
Domésticos		
Basura	25	2.2
Peladuras de Papas	25	1.5

Fuente: Carrillo Leonor. Microbiología Agrícola, p7.

Los metales pesados, los antibióticos, los detergentes son productos que inhiben el proceso de producción de biogás.

No deben existir en el biodigestor condiciones que faciliten la entrada de oxigeno ni presencia de compuestos que se oxiden y liberen oxigeno, como por ejemplo, los nitratos; pues las bacterias metanogénicas demandan condiciones de estricta anaerobiosis.

3.4.4. PH[13].

Se debe controlar el PH del sistema, pues una disminución del mismo puede traer como resultado la inhibición del crecimiento de las bacterias metanogénicas. Ello hace que disminuya la producción de metano y aumente el contenido de dióxido de carbono y se produzcan olores desagradables por el aumento del contenido de sulfuro de hidrogeno. De manera general el PH se mantiene bastante estable a pesar de la producción de ácidos por las bacterias ya que en el medio fermentativo se generan sustancias tampones que garantizan un rango de PH adecuado. Además, la velocidad de formación de ácido depende de la velocidad de la conversión de biogás, Se acepta generalmente que los valores óptimos de PH oscilen entre 7.0 y 8.5. La (tabla 13) muestra los efectos del PH en la producción de biogás.

Tabla 13.

Efectos del PH en la producción de biogás	
Valor de PH	Efecto
7.0-7.2	Óptimo
≥6.2	Retardada la acidificación
≤7.6	Retarda la amonización

Fuente: Metcall-Eddy 1995.

[13] El PH es una característica propia de cada producto, la sigla significa Potencial Hidrógeno. La escala de medición va desde cero (0) a catorce (14), conteniendo la escala de cero (0) a siete (7) todos los productos o sustancias identificadas como ácidos y la escala que va del siete (7) a catorce (14), las sustancias alcalinas o básicas; Siete (7) es el valor neutro (ni ácido, ni básico).

Se debe tener en cuenta que el uso excesivo de desinfectantes en los establos, al igual que los antibióticos en los animales, puede provocar inhibiciones y alteraciones en el crecimiento de las bacterias metanogénicas; pues trazas de estos antibióticos pasan a las heces y son arrastrados por el agua junto con restos considerables de desinfectantes.

El pH se puede corregir en forma práctica, de la siguiente manera: Sacando frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregando materia prima fresca en la misma cantidad y en forma simultánea. Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas, agua amoniacal diluida o una mezcla de ambos y licor fermentado.

3.4.5. Tipo de Materia prima.

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

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico. Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado[14]) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor. En la (tabla 14) se expone un cuadro indicativo sobre diferentes materias primas y el rendimiento en gas de los mismos.

[14] Compostado: Proceso al que se someten los sustratos orgánicos que a través de procesos bioxidativos controlados, incluyendo una etapa inicial Termofílica, estabiliza la materia orgánica, elimina olor y reduce el nivel patogénico

Tabla 14

Diferentes materias primas para la producción de Biogás.			
Tipo de residuo	Litros de biogás por cada Kg de sólido fresco	Contenido de sólidos totales (% de st)	Contenido de materia Orgánica volátil (% de sv/st)
Estiércol de vacuno	15-40	18.00-20.00	83.00
Estiércol de porcino	50-70	18.00	80.00
Estiércol aviar parrillero	30-50	53.00	66.00
Estiércol aviar ponedoras	35-55	35.00	90.00
Desechos de huerta	39-63	11.00	94.00
Residuos amiláceos o azucareros (papa mandioca, remolacha)	100	18.00	94.00
Residuos de comida	75-120	19.60	90.60
Sorgo granífero	550	96.00	98.00

Fuente: Groppeli Eduardo, Programa de tecnología socialmente apropiada (TSA), Fundación PROTEGER y grupo de energía no convencional FIQ-UNL.

Aproximadamente un 10% en peso de la materia orgánica del biodigestor se convierte en gas, la velocidad de conversión depende de la temperatura, de la acidez de la mezcla. A continuación se presenta una tabla con la producción de gas de los animales más comunes que se crían.

Tabla 15

Energía que podemos obtener del biogás.				
Tipo de Ganado	Peso del animal (lb)	Peso del animal (Kg)	Producción de Biogás m3/cabeza día	Energía Kcal/cabeza/día
Toro adulto	1400	635.00	1.31	7.00
Torete	800	362.87	0.78	4.18
Cerdo de Mercado	135	61.23	0.11	0.67
Gallina ponedora	4	1.81	0.0083	0.46

Fuente: Duque Carlos. Manual técnico para la construcción y Operación de biodigestores.

Nota: 60% Metano, cada metro cúbico se mide en condiciones estándar, 1atm de presión, 25°C

3.4.6. Velocidad de carga volumétrica.

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día, todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en kg de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos

sometiendo al sustrato a desecación, 105ºC hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo. El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560ºC durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente: 1-((peso seco - peso ceniza)/peso seco)). Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material degradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

3.4.7. Tiempos de retención (TR).

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los "sistemas discontinuos o batch" donde el (TR) coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor. En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria, de acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El (TR). Está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material. La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el (TR), ya que varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. En la figura 2, podemos observar cómo se distribuye en función al tiempo de retención hidráulica (TRH) la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa.

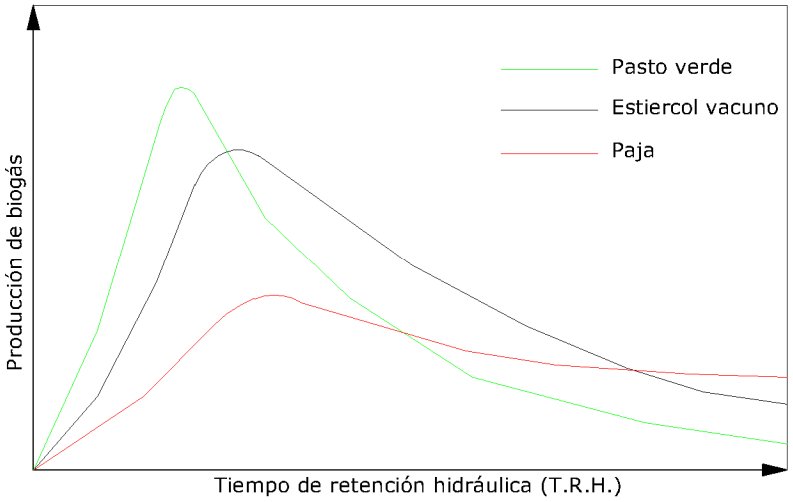


Figura 2

A modo de ejemplo se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura Mesofílica (tabla 16). El límite mínimo de los (TR). Está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanógenas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

Tabla 16.

Tiempo de retención de materia orgánica	
Materia prima	(TRH)
Estiércol vacuno liquido	20-30 días
Estiércol porcino liquido	15-25 días
Estiércol aviar liquido	20-40 días

Fuente: Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. - Castelar. Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert.

Tiempo de Residencia Hidráulica. De acuerdo con Hernández, A (1998), el tiempo necesario para la estabilización de los fangos es función de la temperatura de la digestión. En la gama de las temperaturas de 14°C a 65°C, las bacterias ordinarias o mesófilas mantienen su actividad hasta los 35 °C. Por encima de esta temperatura desaparecen las condiciones adecuadas para su existencia. A partir de ese momento, dejan paso a las bacterias que se adaptan mas al calor, la razón por la que se las llama termófilas, y cuya formación exige un periodo de puesta en actividad especial.

Se sabe que los digestores podrían funcionar con tiempo de retención del líquido próximo a los dos días, siempre que el tiempo de retención de los sólidos sea superior a un cierto valor critico. Este tiempo crítico de retención de los sólidos es el periodo por debajo del cual se inhibe la digestión. Como consecuencia del arrastre de los gérmenes metánicos indispensables, los cuales como se sabe, tiene un crecimiento muy lento.

El porcentaje de regeneración de las bacterias metánicas es de aproximadamente 10 días, la producción de metano cae rápidamente, cesando completamente. Por debajo de un tiempo critico de retención de aproximadamente 10 días, la producción de metano cae rápidamente, cesando completamente el proceso para un tiempo critico de retención de 3 a 4 días. A ese valor se lo llama tiempo mínimo de retención de sólidos.

3.4.8. Inclusión de inoculantes.

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica expresada en la grafica 3 en la cual puede distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y declinación (III).

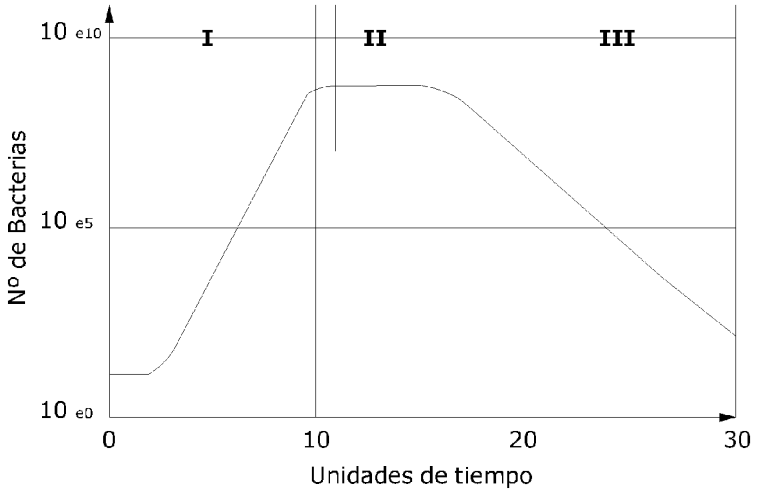


Figura 3

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

3.4.9. Agitación – mezclado.

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos[15] producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios "muertos" sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabólico de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el prejuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo.

[15] Metabolitos secundarios de las plantas son los compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, de forma que su ausencia no es fatal para la planta, ya que no intervienen en el metabolismo primario de las plantas. Los metabolitos secundarios de las plantas intervienen en las interacciones ecológicas entre la planta y su ambiente.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

3.4.10. Inhibidores.

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación Mesofílica y de 3.600 ppm para la Termofílica se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanógenas.

En la (tabla 17) se dan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervinientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente

Tabla 17.

Valores de concentración inhibidores	
Inhibidores	Concentración inhibidora
SO4 (Sulfato; Sal de Epson)	5000 ppm
NaCL (Sal Común; Cloruro de Sodio)	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de nitrógeno)	0.05 mg/ml
Cu (Cobre)	100 mg/l
Cr (Cromo)	200 mg/l
Ni (Níquel)	200- 500 mg/l
CN (Después que se han domesticado las bacterias metanógenas a 2-10 mg/ml).	25 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20- 40 mg/l
Na (Sodio)	3.500-5.500 mg/l
K (Potasio)	2.500-4.500 mg/l
Ca (Calcio)	2.500-4.500 mg/l
Mg (Magnesio)	1.000-1.500 mg/l

Fuente: Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. - Castelar. Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert.

3.5. Acondicionamiento del Biogás.

El gas tal cual sale del digestor debe ser acondicionado a fin de asegurar un permanente y buen funcionamiento de los equipos que se alimentan de él. A pesar de que alguno de estos acondicionamientos no son necesarios en todos los casos, otros como el drenaje del agua de condensación deberá realizarse siempre.

Secado, drenaje. El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condesa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua. Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con una pendiente mínima del 1% hacia un recipiente

denominado trampa de agua donde ésta se almacena y se extrae. Existen diversos tipos de trampas de agua tanto manuales como automáticas que son las recomendadas porque requieren de un mínimo mantenimiento.

Eliminación del CO2. El dióxido de carbono no tiene ningún poder calorífico y debe ser calentado en la combustión. Su eliminación no es aconsejable salvo en los casos de almacenaje del biogás a altas presiones debido a que sería inútil gastar energía de compresión y volumen de almacenaje de alto costo en un gas que no daría ningún beneficio adicional.

Eliminación del ácido sulfhídrico (H2S). Determinados equipos requieren que el gas a utilizar se encuentre libre de dióxido de azufre (SO2), debido a que el mismo combinado con el agua da como resultado ácido sulfhídrico que corroe las partes vitales de algunas instalaciones. El método más utilizado es hacer pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro. El H2S del gas se combina con el hierro formando sulfuro de hierro. Esta reacción es reversible y el hidróxido de hierro puede ser regenerado exponiendo el sulfuro al aire con cuidado debido a que la reacción es exotérmica.

3.6. Formas de uso del Biogás.

El biogás puede utilizarse como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas que tengan fugas, en recintos cerrados. Hasta ahora no se conoce sobre explosiones causadas por el biogás.

El poder calorífico del biogás es de 6 kW-h/m3, lo cual equivale más o menos a ½ litro de diesel. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento.

Una presión de gas de 5 a 20 cm de columna de agua (C.A.) es la más apropiada para cocinar. Las lámparas necesitan unos 10 cm de C.A. de presión.

El ácido sulfhídrico del biogás con el agua condensada forma ácidos corrosivos, sobre todo, refrigeradores y aparatos de agua caliente son sensibles a estos ácidos. La cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o de esmalte. Con la ayuda de un filtro a partir de óxido de hierro se puede purificar el biogás. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás, la presión del gas puede ser baja pues los motores lo succionan. No es rentable licuar el biogás.

Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener en cuenta que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Las grandes longitudes de cañería y cambios de dirección repercuten en la caída de la presión. Estas deben tener determinada pendiente, y en su parte más baja un depósito para el agua condensada, para evitar que se produzcan cavitaciones. Este depósito debe vaciarse periódicamente.

Utilizar la energía producida para ahorrar dinero en la explotación no es cosa fácil. Existen dos posibilidades:

- Quemar el gas en un calentador para producir agua caliente: El biogás puede quemarse directamente en un calentador de agua. El quemador es del mismo tipo que para gas de ciudad, o sea, con una presión de trabajo de 100 a 150mm C.A. y de boca ancha. En verano, que es cuando se produce la mayor cantidad de gas, las necesidades de calefacción son mínimas, por lo que una buena parte del combustible no puede ser utilizada.

- Utilizar el biogás para alimentar un motor de combustión interna conectado a un generador de corriente eléctrica: El gas puede alimentar un motor que accione un generador, la energía eléctrica es más fácil de transportar. Los motores fijos modificados para funcionar con metano se encuentran normalmente en el mercado, y se recupera el calor residual del agua de refrigeración y de los gases de escape, que puede ser más que suficiente para mantener la temperatura del digestor.

3.7. Ventajas y desventajas en el uso de Biogás.

Ventajas.

- El biogás sirve como fuente energética (calor, luz, electricidad).
- El residuo digerido es casi inodoro y estabilizado. Se conservan los nutrientes del suelo mediante la adición del residuo digerido seco conocido como bio-abono.
- Se produce un mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, los cuales no son atraídos por el residuo.
- Su uso trae consigo ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa por reducción de la deforestación.
- Se logran beneficios microeconómicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, aumentan los ingresos y aumenta la producción agrícola ganadera.

Por lo tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación y el desarrollo. Sin embargo, el monto de dinero requerido para la instalación de las plantas puede ser en muchos casos prohibitivo para la población rural. Por ello, se deben concentran los esfuerzos en desarrollar sistemas más baratos y en proveer a los

interesados de créditos u otras formas de financiación. El financiamiento gubernamental podría verse como una inversión para reducir gastos futuros relacionados con la importación de derivados del petróleo y fertilizantes inorgánicos, con la degradación del medio ambiente, la salud y la higiene.

Desventajas.

- Equipamiento grande, algo caro y experimental en ciertos diseños.
- Se requieren ciertas precauciones de manejo.
- El proceso es sensible a la temperatura, PH, velocidad de carga y cambio del tipo de carga.

Capitulo 2. Sistema para producir energía a partir de materia orgánica.

La siguiente información tiene carácter bibliográfico, la cual se detalla al final de la investigación. En este capítulo se definirá el sistema donde se aprovechara la materia orgánica y se producirá el biogás, también se define el término efluente que es uno de los resultados del proceso de digestión anaeróbica en el interior del Biodigestor, que características tiene y como se aplica.

4. Biodigestor.

Se denomina al dispositivo en el que se llevan a cabo los procesos de transformación de la materia orgánica para la obtención de Biogás, constituyéndose en el componente principal y más importante del sistema. Es en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etc.) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

El fenómeno de biodigestión ocurre, porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material, que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4), llamada Biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible. El resultado de este proceso genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes), que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas.

4.1. Tipos de Biodigestores.

A fin de simplificar el análisis y compresión de los distintos tipos de digestores empleados para aprovechar el Biogás, se agruparan los mismos en la (tabla 18) desde los más sencillos hasta los de última generación de reactores de alta eficiencia, complejidad y costo.

Tabla 18

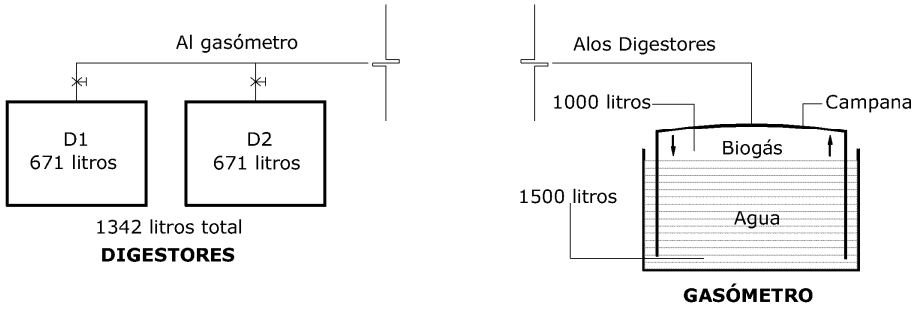
Tipos de Biodigestores	
Carga	Sistema Discontinuo o batch
	Sistemas continuo o semicontinuo
Intensidad de Mezcla	Mezcla completa
Manejo del sustrato	Contacto anaeróbico
	U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Shidge Blanket)
	Lecho fluidizado
	Filtro Anaeróbico
Manejo Bioquímico	Una tapa
	Dos tapas

Fuente: Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. - Castelar. Ing. A. M. Sc. Jorge A. Hilbert.

4.1.1. Carga.

Sistema Discontinuo o Batch. Se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. De uso en laboratorios y en el tratamiento de materias vegetales. Se cargan una vez y se vacían por completo después de un determinado tiempo de retención; el abastecimiento continuo de gas con estas plantas se logra con depósitos de gas o con varios digestores funcionando a la vez

Figura 4: Sistema discontinuo o Batch



Estos digestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos (papel, cartón, madera) que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. Su utilización no está muy difundida.

Ventajas:

- Pueden procesar una gran variedad de materiales
- La carga puede juntarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otra materia inerte mezclado, no entorpece la operación del digestor.
- Admiten cargas secas, que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.
- Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica.
- No requieren prácticamente ninguna atención diaria.

Sistema continuo o semicontinuo. En este tipo de digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida. De este modo el volumen del sustrato en la cámara de digestión se mantiene constante. Los digestores continuos se cargan generalmente en forma diaria, a diferencia de los discontinuos se descargan totalmente una o dos veces por año que generalmente coincide con el período de siembra para aprovechar el poder fertilizante de los residuos de la digestión y de los lodos fermentados, parte de estos últimos es utilizada en el nuevo arranque. (Sistema muy difundido en China).

El tiempo de permanencia de la biomasa dentro del digestor estará dado por el cociente entre el volumen de la cámara de digestión y el de la carga diaria. Dicho valor no es exacto debido a que la parte del material introducido puede salir en un período más corto, lo que se trata de minimizar mediante un adecuado diseño de la cámara.

La mayor parte de los digestores difundidos a lo largo de todo el mundo pertenecen a esta categoría y existen dentro de ella enormes variaciones sobre el mismo principio. Las plantas continuas son apropiadas para viviendas rurales donde el mantenimiento necesario se integra a la faena diaria y la producción de gas es mayor y uniforme. Estas últimas también tienen la ventaja de adaptarse al uso industrial, por ejemplo en criaderos. Donde no importa tanto la producción de gas como el tratamiento de la patogenicidad de estos desechos. También son propicias para la automatización.

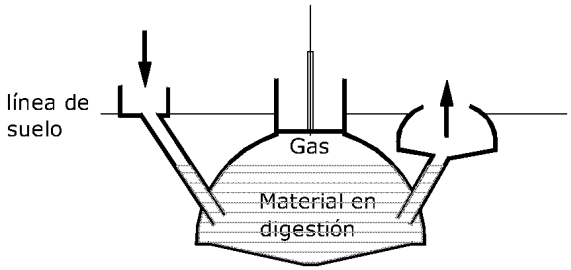


Figura 5: Planta de biogás cúpila fija

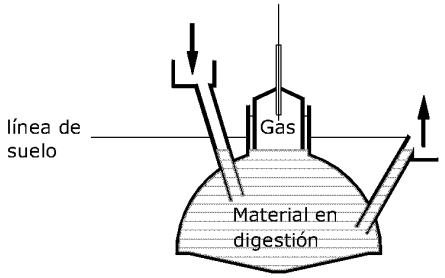


Figura 6: Planta de biogás campana flotante

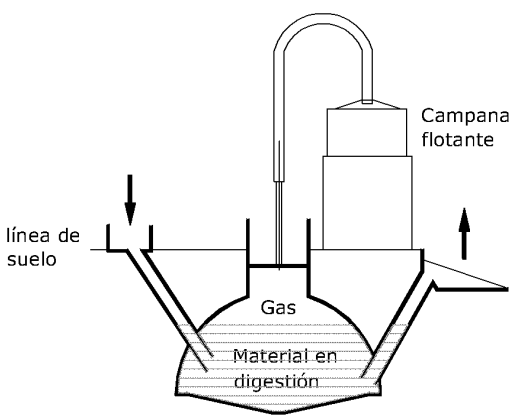


Figura 7: Planta de biogás cúpila fija y campana flotante

El diseño y la construcción de la planta, así como los materiales a utilizar, deberán elegirse cuidadosamente en función de la producción deseada, las características del suelo, el tipo de carga y la inversión que se desea hacer. Se debe tener en cuenta también las características climáticas del lugar, pues como se indicó previamente, la digestión anaerobia es muy sensible a los cambios de temperatura y necesita de por lo menos 30ºC para tener una producción aceptable.

Ejemplos de Biodigestores Continuos o Semicontinuos.

Biodigestor de domo flotante (Hindú). (Figura 8**).** Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión.

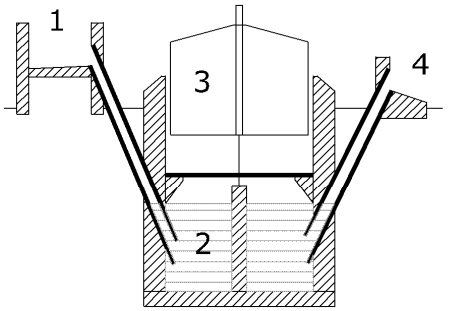
Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrampa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta de modo continuo o semicontinuo a través de una tubería de entrada.

Este digestor funciona en forma continua realizándose por lo general una carga diaria o cada dos o tres días. El vaciado completo sólo se realiza en el caso de requerir alguna reparación o limpieza. El gas gracias al gasómetro flotante se almacena a presión constante y volumen variable. Esta presión de salida puede ser incrementada con la adición de contrapesos. Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es generalmente lo más caro del equipo. Su funcionamiento es muy sencillo y no presenta inconvenientes en el área rural.

Biodigestor de domo fijo (Chino). (Figura 9**).** Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Esta instalación tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

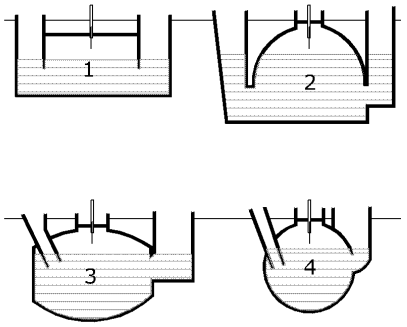
Su forma se asemeja a una esfera (Figura 5-7) y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión. Estos digestores se cargan de forma semicontinuo realizándose una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inoculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad luego se sigue cargando como un digestor continuo; a los 120 a 180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo. Fuera de China generalmente se maneja estos digestores en forma continua.

Figura 8: Digestor Hindú



1. Cámara de carga
2. Cámara Gasómetrica
3. Cámara de digestión
4. Salida del afluente

Figura 9: Digestores Chinos



1. Planta rectángular de los años 60
2. Digestor de piedra
3. Digestor de Sichuan
4. Digestor esférico de Shangai

Biodigestor de estructura flexible. La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992) a hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos.

Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC." Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

Ventajas.

- Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso.
- Al ser hermético se reducen las pérdidas
- Producción de energía barata

Entre las desventajas del biodigestor de plástico se halla su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.

Digestores de alta velocidad o flujo inducido. Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales. Se les conoce como CSTD (Conventional Stirred Digestor). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Buscando un tipo de digestor ideal, se llegó al concepto de digestor de Segunda y Tercera generación, siendo los clásicos modelos Hindú o Chino, los de la primera. Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

El Digestor de Segunda Generación divide al convencional en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferrocemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

El Digestor de Tercera Generación modifica radicalmente al de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

Ventajas.

- Menor tiempo de operación
- Evita la formación de una costra de material dentro del digestor
- Logra la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema

- Ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión
- Mantiene una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes
- Inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño
- Permite una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor
- Mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor

4.1.2. Intensidad de mezcla.

Mezclado completo. En estos digestores se busca que el substrato en fermentación dentro de la cámara, se mezcla en forma total en general diariamente. En el caso de los reactores calefaccionados, esta acción asegura una distribución uniforme de la temperatura en todo el volumen. Existen diversos medios para lograr este fin, entre los que podemos mencionar: la agitación de líquidos mediante bombas internas o externas al digestor y la reinyección de biogás dentro de la cámara produciendo un intenso burbujeo. Se debe tener mucho cuidado en la intensidad y periodicidad de la agitación, para no afectar el delicado equilibrio bacteriano.

Mezclado parcial. En este grupo se encuentran los pequeños digestores rurales en los cuales los métodos de agitación son muy rudimentarios (agitadores del tipo manual o rotación de la campana gasométrica). Los que se realizan con el fin de evitar la formación de la perjudicial costra.

En otros casos como los digestores del tipo horizontal la agitación se logra mediante la circulación del substrato dentro de la cámara de digestión provista de una serie de tabiques. El flujo puede ser también ascendente o bien descendente, lo que dependerá de la ubicación de las cañerías de entrada y salida del substrato.

4.1.3. Manejo del sustrato.

Contacto anaeróbico. Tanto en este como en los siguientes sistemas se ha buscado algún medio para retener la mayor cantidad de bacterias activas dentro de la cámara de digestión a fin de lograr menores tiempos de retención y consecuentemente menores volúmenes de digestor para tratar la misma cantidad de biomasa. En estos digestores la pileta de sedimentación a la salida de los mismos le da la posibilidad a las bacterias que han salido con el efluente a asentarse y decantar para luego ser reintroducidas en forma de lodo, mezclado con material de carga como inoculo.

Existen también otros dos métodos para retener la masa bacteriana a la salida del reactor, como puede ser un sedimentador externo en el

cual las partículas más pesadas son recirculadas. Otro puede ser un separador de membranas que no hace otra cosa que filtrar las bacterias, proceso que se realiza mediante un bombeo externo del lodo de la parte inferior hacia la superior. El tercero es una variación del primero, ya que el sedimentador es con placas.

U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Shidge Blanket). En su interior posee separadores y mamparas estratégicamente ubicadas las que generan zonas de tranquilidad en las cuales las bacterias han conformado glomérulos (floculación) que sedimentan y así se evita que salgan con el efluente que es sacado por la parte superior de la cámara de carga. Este tipo de digestor es especialmente apto para el tratamiento de desechos agroindustriales como la vinaza, no admite partículas insolubles.

Lecho fluidizado. En este tipo de reactor unas pequeñas partículas se mantienen en suspensión dentro de la cámara de digestión. Las bacterias se adhieren a estas partículas, que no son atacadas y salen con ellas. Mediante el filtrado del efluente se pueden recuperar estas partículas juntamente a las bacterias y se reintroducen en el digestor. Este tipo de reactor está poco difundido y las mayores referencias son de plantas a nivel laboratorio o piloto. Los hay de flujo ascendente y descendente.

Filtro anaeróbico. Estos reactores tienen la particularidad de ser alargados (relación alto/diámetro mayor a 1), últimamente se está experimentando con filtros horizontales, pero los verticales siguen siendo más eficientes, en su interior poseen un medio fijo que puede estar constituido por cañerías reticulada, piedra caliza, formas plásticas de gran relación superficie/volumen, etc. Sobre estos materiales no atacables se adhieren las bacterias y así se evita su pérdida, que disminuye notablemente los tiempos de retención. Existen dos variantes: de flujo ascendente y de flujo descendente.

Debido a estos elementos filtrantes ubicados dentro de la cámara de digestión, no admiten líquidos con material insoluble en suspensión ya que dichos sólidos bloquearían el pasaje del substrato. Este tipo de digestores está difundiéndose últimamente para determinados usos. Tanto este digestor, como los dos anteriores admiten tiempos de retención muy bajos (0,5 a 3 días) con muy altos niveles de eficiencia (se han llegado a valores de producción de biogás de 7 veces el volumen del reactor por día). Existen de flujo ascendente y descendente.

4.1.4. Manejo Bioquímico.

Una etapa. Todos los tipos de digestores vistos hasta este momento se agrupan en esta categoría debido a que todas las etapas de la digestión anaeróbica se cumplen en una única cámara, en la cual todas las bacterias están sometidas a las mismas condiciones.

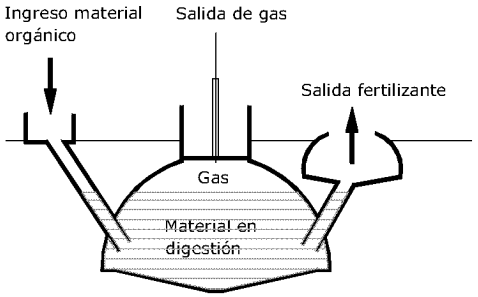
Dos etapas. En estos reactores se ha dividido en dos cámaras de digestión separadas, donde en la primera se desarrolla la etapa acidogénica y en la segunda la acética y la metanogénica. Esto permite optimizar las condiciones de desarrollo de cada tipo de bacterias y extraer los sólidos indigeribles antes que pasen a la etapa metanogénica. Estos digestores no han sobrepasado la etapa experimental y de plantas piloto y aún resta solucionar una serie de problemas de funcionamiento a gran escala para llegar a una amplia difusión.

4.2. Funcionamiento del Sistema.

Dentro de un tanque sin presencia de oxigeno, las bacterias digieren la materia orgánica, como resultado de este proceso se obtiene el biogás, la mezcla de materia orgánica y agua se convierten en caldo rico en nutrientes llamado BIOL.

En algunos diseños, se coloca un domo de lata o de fibra de vidrio sobre un tanque de cemento o adobe para capturar el gas, el domo a medida que se llena de gas eleva su nivel, este modelo es un poco más caro, existen modelos económicos como los construidos con tubos plásticos a modo de salchicha, estos permiten acumular el gas inflando al plástico.

Todos los modelos tienen en común una entrada y salida de carga por donde ingresa el material orgánico, los ductos deben ser de gran diámetro para evitar taponamiento, del orden de los 20 a 30 cm, en todos los ductos de ingrbeso al tanque se debe crear el efecto sifón, que es el que permite que no escape el gas, a continuación un gráfico del efecto sifón (Figura 10).



Funcionamiento del sistema

Figura 10: Efecto sifón necesario para dejar lograr capturar gas dentro del bíodigestor, además de permitir el ingreso y evacuación de material por los tubos PVC. El efecto sifón se logra colocando los tubos PVC a una inclinación de 15- 70º

La construcción del biodigestor debe contar con sierre interno el cual permite cargarlo y descargarlo manualmente facilitando su limpieza, el sistema debe contar con un juego de filtros formados por alambres de hierro y cobre (Figura 11) para retirar el vapor de agua y contenido de azufre.

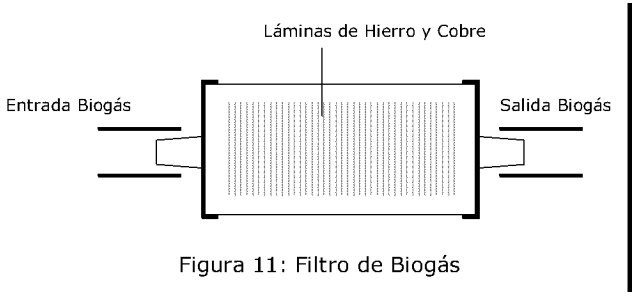


Figura 11: Filtro de Biogás

4.3. Componentes del sistema.

Sistema de acarreo o alimentación. Deben ser tales que aseguren una provisión de materia prima en forma rápida evitando su descomposición aeróbica y la pérdida de su temperatura. De este modo se tendrá un material con su pleno potencial.

Las propiedades físicas del sustrato fresco son raramente comparables a las del agua. Los líquidos residuales de las granjas europeas, tienen sus propias reglas sobre las propiedades del fluido, las cuales no son calculadas por fórmulas. La selección y/o diseño del equipo de transporte se fundamenten en los siguientes parámetros:

- viscosidad
- tipo, tamaño y proporción de sólidos
- contenido de sólidos totales
- proporción de agua pura
- caudales requeridos

El esfuerzo y dinero que serán dispuestos para el sistema de transporte, como las propiedades del flujo del sustrato en el alcantarillado y la cañería, dependerán de la consistencia y el contenido de fibras del sustrato y del caudal de salida requerido. Este último es producto de la altura manométrica a vencer y la sumatoria de las pérdidas producidas por fricción. Estas pueden ser estimadas para curvas, tés, y válvulas como las pérdidas producidas en un caño de 5 m de longitud del mismo diámetro del accesorio considerado. Es recomendable evitar la instalación de codos de 90º. Las pérdidas de carga también dependen del caudal y pueden ser obtenidas de las tablas apropiadas. Los valores del estiércol líquido son naturalmente mayores que los del agua.

Cámara de carga. El sustrato generalmente se almacena en una cámara de carga antes de su ingreso. Dependiendo del digestor esta cámara deberá ser capaz de almacenar un volumen equivalente a dos días de carga. Estará provisto de un sistema de alimentación de agua para realizar las diluciones del material y algún mecanismo o instrumento de agitación para homogeneizar la carga.

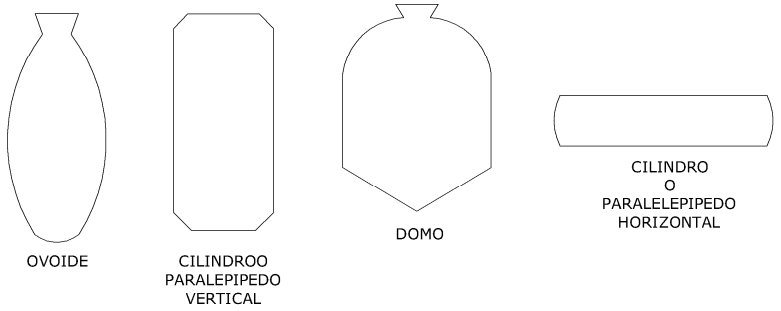
Conductos, canales y bombas. Podemos diferenciar claramente la existencia de dos fluidos muy distintos en el proceso anaeróbico, a saber el biogás (gaseoso) y el sustrato (semilíquido); antes, durante y después de la digestión.

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

- Impermeable al agua y al gas para evitar las pérdidas del líquido en digestión, con el consecuente peligro de contaminación; y la pérdida de gas que disminuirá la eficiencia y provocaría el riesgo de explosiones en las cercanías del digestor.

- Aislante, las pérdidas de calor deben ser evitadas al máximo, puesto que el mantenimiento de la temperatura de digestión es logrado con el aporte de calor externo y por lo tanto todo ahorro en este sentido redundará en una mayor cantidad de energía neta disponible.
- Mínima relación superficie/volumen, a fin de ahorrar material y mano de obra, también para reducir la superficie de intercambio de calor.
- Estabilidad estructural, capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas; incluyendo un cuidadoso estudio del suelo especialmente en los que serán construidos bajo tierra, donde se pueda afectar alguna napa freática.
- Los formatos son muy variables pero existen cinco formas básicas de las cuales derivan todo el resto (Figura 12). Cada una de las cuales tiene ventajas y desventajas, como por ejemplo los digestores del tipo horizontal se adaptan mejor a las zonas con algún tipo de impedimento en el subsuelo. Con respecto a la producción de gas no existen hasta el momento evidencias de peso que hayan demostrado que la forma de la cámara de carga tenga importancia en la producción de gas, sin embargo los digestores de última generación, de mayores rendimientos, son propensos a las formas de cilindros o paralelepípedos verticales. Engranajes o de espiral excéntrico; las que operan con el principio de entregar un desplazamiento positivo a la vena fluida, en uno o varios cuerpos de la bomba.

Figura 12: Formas de Biodigestores



- Las bombas de desplazamiento positivo ofrecen múltiples ventajas, también para substratos muy viscosos, proveen de altos caudales con buenos rendimientos y consumos de energía relativamente bajos. Son de una característica dura, pues la altura manométrica varía muy poco con el caudal, consecuentemente éste dependerá de la velocidad de la bomba. La principal desventaja, comparada con la centrífuga, es que el desgaste de los mecanismos internos ocasiona la necesidad de proveerlas de sellos especiales entre cada compartimiento o cuerpo.
- Los materiales de construcción más usualmente empleados son el hierro, cemento armado, mampostería (ladrillos y cemento), plásticos (OVC, PU, PRFV) y la madera en contadas ocasiones. La elección dependerá fundamentalmente de los factores costo y disponibilidad.

- La cámara de agitación debe estar provista de un mecanismo de agitación; éste puede ser muy variado. Básicamente existen tres tipos: Los mecánicos (palas, hélices, tornillos sinfín), bombas de recirculación, inyectores de gas y circulación natural por desplazamiento de líquido interno, como se vio anteriormente.
- Se han desarrollado métodos de cálculo para determinar las pérdidas térmicas, la energía requerida para la calefacción y el dimensionamiento de dichos sistemas. Los sistemas de calentamiento disponibles pueden ser divididos en dos grandes grupos: los de calentamiento directo por vapor o agua caliente (este tipo de sistema se suele utilizar para el calentamiento del material a cargar y los de calentamiento indirecto a través de intercambiadores de calor. En estos últimos se suele utilizar el agua caliente como medio de transporte de energía. Los intercambiadores de calor adoptan distintas características: fondo calefaccionado, verticales sumergidos, embutidos en las paredes o externos al mismo. Como regla general es conveniente el precalentamiento de la carga y la optimización del aislamiento a fin de reducir al mínimo el requerimiento de calor para mantener la temperatura estable.

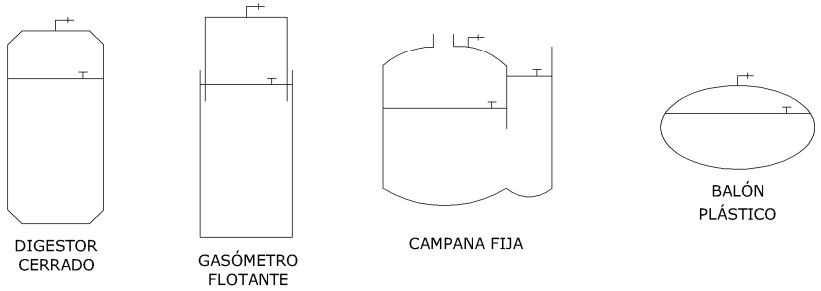
Almacenamiento del efluente. El dimensionamiento y diseño de la cámara de descarga dependerá fundamentalmente del uso que se le dará al efluente. Como mínimo deberá tener un volumen 2 a 3 veces superior al de descarga diaria.

Almacenamiento del biogás (Gasómetros). La producción de gas de un digestor anaeróbico es continua a lo largo de las 24 horas del día; no ocurre lo mismo con el consumo que por lo general está concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consuma. La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido. Por lo tanto cuanto más concentrado esté el consumo en un período de tiempo corto, mayor será la necesidad de almacenaje. Por lo general el volumen de almacenamiento no baja del 50% de la producción diaria.

El contenido de energía de 1 m3 de biogás (60% CH_4 y 40% CO_2) es aproximadamente 6 kWh/m3. Esta energía puede ser almacenada en diferentes formas (gas a baja presión, media o alta), agua caliente o energía eléctrica. Debido a que el gas en si mismo constituye la forma más directa de energía se debe intentar almacenarlo: para ello existen varias formas posibles:

- La forma más simple es almacenar el gas tal cual se obtiene, a baja presión, para ello se utiliza generalmente gasómetros. Las posibilidades están representadas en la (Figura 13) y son básicamente cuatro. Los digestores totalmente cerrados almacenan el gas a presión constante y presión variable su capacidad es reducida y son muy poco usados.

Figura 13: Tipos de gasómetros



- Los digestores con campana gasométrica que puede flotar sobre el líquido en fermentación o estar separado del digestor flotando sobre agua formando un sello hidráulico, muy usado en los reactores del tipo Hindú: en este caso el gas se almacena a presión constante (la que se puede variar colocando contrapesos sobre la campana) y a volumen variable.
- El tercer tipo posee una cúpula fija y una cámara de hidropresión que permite el desplazamiento del sustrato en fermentación a medida que se acumula el gas, este sistema es muy empleado en los digestores de tipo Chino; en este caso el gas se almacena a volumen y a presión variables.
- Por último se han difundido en años recientes almacenadores de gas del tipo gasómetro plástico inflable. Este contenedor plástico puede cubrir el digestor en su parte superior como una campana o estar separado, almacenando a presión constante volumen variable. En este tipo también se puede variar la presión de la misma forma que en el de campana gasométrica.

Todos los sistemas descritos no superan presiones máximas los 100 cm de C.A. encontrándose la media alrededor de los 35, presión a la cual funcionan correctamente los artefactos domésticos.

La energía se puede almacenar en forma de calor, calentando agua la que se mantiene en un recipiente aislado hasta el momento de su utilización. Uno de los usos, como vimos puede ser el de calentar y mantener la temperatura interna del digestor, además de los otros usos que se le quiera dar gracias a la gran capacidad calórica del agua se puede obtener una alta densidad energética, por ejemplo con una diferencia de temperatura de 20 a 40ºC se puede obtener una densidad 4 veces mayor a la del gas (23 a 46 kWh/m3).

4.4. Factores a considerar en el diseño de un biodigestor.

Factores humanos.

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.
- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

Factores físicos.

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.
- Vías de acceso.
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrologica.

Factores de construcción.

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, silico-calcáreo), planchas prefabricadas, concreto, módulos prefabricados.

Factores utilitarios.

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala domestica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m3 / digestor; si es mediano de 12 a 45 m3 digestor y si es grande de 45 a 100 m3 / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento de el pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y

los sólidos en masa y por último los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

4.5. Dificultades técnicas de los biodigestores.

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35ºC. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- Es posible que, como subproducto, se obtenga SH2, el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfato reductoras. La presencia de SH2 hace que se genere menos CH4, disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.

4.6. Mezclas para alimentación del biodigestor.

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al biodigestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada.

Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa a agua debe estar entre 1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 Kg. de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4. Es esencial proporcionar una buena mezcla en el digestor para promover una biodegradación efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso.

La materia prima para preparar las mezclas son estiércol acompañado de agua limpia y residuos de cocina, las mezclas ideales que deben existir dentro de un biodigestor son:

Tabla 19.

Mezclas para alimentación del biodigestor
Mezcla Doméstica. 60% agua 40% materia orgánica (30% estiércol 10% de residuos de cocina)
Mezcla Alternativa 50% agua 50 % materia orgánica (10% de fango 30% estiércol y 10% de residuos de cocina)

Fuente: Manual técnico para la construcción y operación de Biodigestores.

Nota: El agua debe ser limpia, libre de elementos químicos tóxicos para las bacterias, en el caso del agua potable por lo general presenta un alto contenido de cloro, elemento bacteriano, el agua que es más común para los biodigestores de alto rendimiento es el agua de vertiente para o de acequia, donde no exista actividad humana. El agua en ocasiones proviene del lavado

de las chancheras, suelen presentarse problemas en el biodigestor cuando el agua se mezcla con restos de detergente, sosa cáusica o otros químicos usados durante la limpieza de las chancheras, las bacterias que producen el gas son sensibles a la presencia de químicos, por tal razón el uso de químicos en la limpieza está restringido. En lugar de químicos tradicionales se recomienda ozono, este es un químico capaz de desinfectar y desaparecer al cabo de 30 minutos.

El estiércol, cuando proviene del chancho no suele estar completamente digerido, por tal razón, en el caso de los chanchos no es recomendable mezclarlo con materia orgánica adicional.

Cuando se trata de estiércol de vaca, la producción de biogás es más alta, debido a que es mejor digerido, por tal razón, en el caso de estiércol de pollos esté no es aconsejable dada la presencia de químicos residuales provenientes de vacunas, fumigaciones etc.

El estiércol de pollos de postura es mejor ya que presenta por lo general menor contenido de elementos químicos facilitando el proceso de biodigestión, cuando se recoge el estiércol de los campos, este no debe estar completamente seco, debe ser fresco ya que el estiércol que esta mucho tiempo al aire libre libera el gas en la atmósfera volviendo inservible para el biodigestor.

La materia orgánica de origen doméstico puede complementar la utilidad del biodigestor, en la actualidad se plantea la posibilidad de instalar biodigestores para cada edificio dado la creciente escasez de agua para transportar los residuos por medios de desagües.

Un caso especial son las letrinas, estas son biodigestores naturales, sin embargo solo son aprovechables cuando son construidas bajo un diseño de biodigestor. El principal problema de las letrinas es que no son adecuadamente cerradas, por otro lado no contienen la suficiente cantidad de agua y el tiempo de residencia de las heces no es controlado, cuando una letrina es diseñada técnicamente, con el fin de trabajar como biodigestor, esta es capaz de dar a las heces periodos de residencia que oscilan entre los 90 y 120 días necesarios para la producción de gas y destrucción de microorganismos con la consecuente derivación de olores y toxicidad. Es importante anotar que la parte más difícil para la aceptación de los usuarios es vencer la aprehensión que sufre la gente al manipular excrementos, especialmente durante la primera carga del biodigestor, donde es necesario introducir 2 a tres toneladas en una sola carga al tanque, con la finalidad de lograr una operación más amigable para el usuario se rediseña el biodigestor para que pueda abrirse con la finalidad de movilizar mecánicamente la mezcla con ayuda de palos o bombas de lodos.

4.7. Mantenimiento.

- Los digestores deben cercarse para evitar averías en el sistema.
- Si se utiliza digestor plástico, debe prevenirse el daño al plástico por la radiación ultravioleta.
- Para aumentar la presión de gas al cocinar, se puede atar un objeto pesado (ladrillo o piedra) al fondo del depósito o apretar un cordón alrededor del medio.
- La lluvia no debe entrar al gasómetro, porque puede causar dilución excesiva.
- El nivel de agua en la válvula de seguridad debe verificarse semanalmente.
- Se debe cubrir el digestor diariamente y asegurarse que el tubo de la salida no esté bloqueado.

5. El Efluente

El proceso fermentativo y de producción de biogás no extrae más que carbono, trazas de azufre, hidrógeno y algo de nitrógeno por reducción de NH3. Para una alimentación media de 50 kg/día y una producción diaria de 1 m3 de gas la masa se reducirá solamente en un 2%.

La viscosidad del efluente se ve reducida drásticamente debido a la transformación de los sólidos volátiles (un 50% de los mismos son reducidos en un digestor en régimen). Esto hace al efluente mucho más manejable para su utilización. El efluente carece prácticamente de olor debido a que las sustancias provocadoras del mal olor son reducidas casi en su totalidad en función al tiempo de retención. La relación Carbono/Nitrógeno se ve reducida mejorando en forma general el efecto fertilizante del efluente.

Todos los nutrientes utilizados por los vegetales en forma importante (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) al igual que los elementos menores son preservados durante la fermentación. En el caso del fósforo su porción directamente asimilable no se ve afectada conteniendo los efluentes un 50% en esta forma.

En contraste con los otros nutrientes el nitrógeno contenido en un 75% en macromoléculas orgánicas y un 25% en forma mineral en los estiércoles sufre una transformación reduciendo a un 50% el nitrógeno orgánico y aumentándose a un 50% el nitrógeno en forma mineral directamente asimilables por las plantas. Con respecto a este último nutriente es muy importante el tratamiento que se le da al efluente después de que sale del digestor debido a que a medida que transcurren los días se incrementa la pérdida de nitrógeno mineral (5% en 11 días, 15% en 20 días). En el caso de secar el efluente la pérdida puede llegar al 90%.

5.1. Efecto del efluente sobre el suelo.

Debido a su rápida descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo.

El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio (NH4) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de nitrificación biológica.

Efecto sobre los cultivos. Existen amplias evidencias del incremento en la producción de distintas especies provocada por la aplicación de efluentes al suelo. Tanto en este aspecto como en los anteriores, las aseveraciones y cifras son relativas debido a que se está trabajando con sistemas biológicos muy complejos como son: el material orgánico de carga, el digestor, el suelo y finalmente el cultivo. Esta interacción y variación provoca grandes diferencias en los resultados y hace difícil cuantificar los beneficios obtenibles de la aplicación así como también definir dosis y modos de aplicación.

5.2. Aspecto sanitario.

A pesar que este aspecto no puede ser ubicado estrictamente como un uso, aporta indudables beneficios al reemplazar otros costosos sistemas para obtener el mismo grado de descontaminación.

El tratamiento de los deshechos por vía anaeróbica elimina la acumulación de estos a la intemperie evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades. El proceso en si mismo produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, seudo-monas). Esta reducción muy importante desde el punto de vista del saneamiento está regulada por la temperatura de fermentación y la cantidad de días que permanece la biomasa dentro del digestor (tiempo de retención). El proceso fermentativo también tiene un efecto beneficioso si se lo emplea como biofertilizante ya que un gran porcentaje de semillas de las malezas se tornan inviables.

El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse: la preparación del compostado, la alimentación de algas y peces y de animales en raciones balanceadas.

Se han realizado numerosos ensayos y extendido sobre todo en Oriente, el uso del efluente como sustrato para el crecimiento de algas y peces en estanque cerrados. En otro tipo de estanques también se crían patos y peces, los que son aprovechados para confeccionar la

ración de los animales conformando lo que se ha dado en denominar “Granjas integradas”. Siendo estas la base para un pleno desarrollo sostenible.

La utilización del efluente en mezcla con raciones ha sido empleada en numerosas especies y se cuenta con datos que aseguran un 30% de sustitución en cabras, 10%-20% en pollos, 10% en cerdos y 10% en patos. Como un aditivo al material vegetal para la confección de compostado, el efluente es excelente ya que aporta una buena fuente de nitrógeno que acelera el proceso y enriquece al mismo tiempo el producto final con fósforo y otros elementos. Por otro lado el proceso de compostado completa la efectiva destrucción de patógenos lograda en la digestión anaeróbica.

Esto completa los usos potenciales del efluente de los digestores, últimamente otros productos de la digestión están utilizándose a nivel experimental como es el caso del CO2 obtenido de la purificación del gas. Estos usos sólo son posibles en grandes plantas industriales donde la rentabilidad del producto justifique las inversiones necesarias para implementar este uso.

5.3. Producción de Abono orgánico.

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases de generados (CH4, CO2, H2S) que representan del 5% a 10% del volumen total del material de carga. Se conservan en el afluente todos los nutrientes originales (N, P, K) contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores, patógenos, y de fácil aplicación la fase liquida se la llama Biol y se comportan como un abono hidrosoluble, la fase sólida es decir el sedimento se lo llama Biosol y se comporta como un abono normal que se lo dispersa con pala en el terreno.

Efluente liquido Biol. Presenta ventajas como la lata disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente sale del biodigestor, o almacenarse en tanques tapados por un periodo no mayor a cuatro semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.

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

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

5.4. Dosis de aplicación.

La dosis del afluente o bioabono debe aplicarse en términos de la cantidad del nutriente equivalente que se necesite, lo cual dependerá del tipo de suelo, temporada de siembra y del tipo de cultivo, así como, también su estado de desarrollo biológico, conviene, por tanto efectuar el análisis del efluente para establecer sus propiedades nutritivas, sus complementos químicos de ser necesarios, a continuación se presenta las dosis promedio.

Biol: Fertilizante hidrosolubles, se diluye 10 galones en 100 galones de agua

Biosol: Fertilizante solidó, se vota 10 carretillas por hectárea

Capitulo 3. Proyecto: planta de Biogás.

En este capítulo se aplican los factores que intervienen en el proceso de biodigestión. En primer lugar se selecciono un terreno para determinar la cantidad de ganado vacuno que se puede alimentar, para con esto calcular la cantidad de biomasa y biogás que se dispone, a este valor se lo relaciona con la cantidad de energía que necesitamos en una vivienda habitada por cuatro personas para (cocinar, calefón, cogeneración); y se analiza el dimensionamiento de plantas de biogás para (cocinar y calefón), y simplemente cocinar.

6. Diseño de planta de biogás para cocinar, calefón y motor (Cogeneración)

Un aspecto importante para la viabilidad de un proyecto de biogás es la capacidad de reciclaje de materia orgánica, esto determinara la producción y los usos que se le quiera dar. Entonces es necesario tener una fuente constante de desechos orgánicos, en nuestro caso es el ganado vacuno. Esté proporciona una de las mejores materias orgánicas (estiércol) para la biodigestión, además su alimentación se da con pastos que pueden ser mejorados con el efluente que resulta del proceso.

Antes de entrar al diseño de la planta se analizara que capacidad de biomasa y biogás se puede producir en el sitio, este dato será comparado con la capacidad de energía que realmente necesitamos (con limitantes: cocción para 4 personas; funcionamiento de un calefón de 10 lt/min (para calentamiento de agua en 2 duchas y el lavadero de la cocina por 1 hora con 40 minutos al día); y producción de luz eléctrica (16 focos durante 5 horas al día).

6.1. Ubicación del proyecto.

Para seleccionar el terreno se considero: contar con espacio para actividades agrícolas, existencia de vías de comunicación y servicios básicos, esto para facilitar las condiciones de vida. Se encuentra ubicado en la parte occidental de la ciudad de Loja, limita al norte con la urbanización la Dolorosa y Ciudad Victoria, al sur con Menfis central y al este con Menfis Bajo. El terreno seleccionado tiene un área total de 43514.5 m2, y se encuentra atravesado por la Av. De Integración Barrial Benjamín Carrión, vínculo importante de la ciudad de norte a sur.

6.2. Análisis Preliminares.

Se analizara factores útiles para el proyecto como: número de integrantes por hogar en la ciudad de Loja, con este dato se podrá definir cuanta energía requerimos; otro aspecto de análisis son las condiciones ambientales como vientos, brillo solar, temperatura, humedad relativa, con estos indicadores en cambio podremos tomar medidas como utilizar o no calefacción en el biodigestor; y por último determinaremos el tipo de suelo para conocer si este suelo es apto para la agricultura, si podemos obtener alimento para nuestro ganado y así tener una fuente constante de biomasa.

6.2.1. Número de personas por hogar en la ciudad de Loja.

"Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y censos del Ecuador) en el censo realizado 2005-2006 el tamaño promedio de un hogar en la ciudad de Loja es de 4.17 personas. Los hogares de 2 a 4 miembros representan el 49.0 % mientras los hogares de más de 4 miembros representan el 40.9%".

Tomando en cuenta las estadísticas del INEC la mayoría de los hogares están formados por 2 a 4 personas en este proyecto se considera al el tamaño del hogar de 4 personas. Es decir nuestra planta de biogás servirá energéticamente a esta cantidad de gente.

6.2.2. Clima de la ciudad de Loja.

En el lapso de 40 años se logro determinar un promedio en cuanto: Temperatura, vientos y humedad relativa. Tomando como fuente al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se procede a realizar el siguiente análisis:

La temperatura media de la ciudad de Loja es 15.9 °C, con una oscilación anual media de temperatura de 1.6. En este lapso de tiempo se observo como temperatura mínima 8°C y máxima 26 °C. La temperatura media ambiental en la ciudad está cambiando, en constante crecimiento. En 40 años existió un incremento de temperatura de 0.8 °C. (Anexos Capitulo 3. Cuadro 3.1).

Para desarrollar una planta de biogás la temperatura ambiente debe estar entre 10- 35°C. Loja tiene una temperatura media 15.9°C por lo que la tecnología se puede desarrollar sin problemas.

Los valores de lluvia anual de la ciudad de Loja, en 40 años, se han mantenido sin variaciones significativas, fluctuando alrededor de los 900 mm/año y con un régimen de distribución bastante homogéneo. Sin embargo, llueve más en el período enero-abril con un promedio de 110 mm; el período junio-septiembre es seco con un promedio de 50 mm. (Anexos capitulo 3. Cuadro 3.2)

La humedad relativa media del aire de la ciudad de Loja es de 75 %, con fluctuaciones extremas entre 69 y 83 %. Hay mayor humedad atmosférica en los meses de febrero, marzo y abril (78 %) y menor humedad relativa en el mes de agosto (71 %). (Anexos capitulo 3. Cuadro 3.3)

El brillo solar (insolación) de la ciudad de Loja presenta una suma plurianual de cerca de 1600 horas, con valores más altos en el segundo semestre del año, donde noviembre detenta la mayor cifra (157,1 horas/mes o un promedio de 5,3 horas/día de brillo solar sin interferencia de nubes). En cambio en el primer semestre, que corresponde al período más húmedo del valle, la insolación oscila entre 102 y 135 horas/mes

(unas 4.5 horas/día) de brillo solar, que representa una cifra media pero estable a lo largo del año. (Anexos capitulo 3. Cuadro 3.4)

La velocidad del viento en el valle de Loja es de 3,0 m/s; velocidad que se puede considerar reducida y que no causa problemas para la vida vegetal ni animal y la convivencia humana. Durante los meses de junio, julio y agosto, se registra la mayor fuerza del viento, con valores máximos entre 9 y 10 metros por segundo (m/s) en julio y agosto. Pero en general, la velocidad del viento se mantiene aceptablemente estable alrededor del 40 % del tiempo.

En el valle de Loja predominan los vientos de dirección norte, noreste y este, encausados por la apertura hidrográfica del río Zamora hacia la Amazonía y la ubicación de la plataforma meteorológica de La Argelia, al sur del valle. Hecho que también contribuye a que los vientos con menor frecuencia tengan direcciones meridionales y suroccidentales. (Anexos capitulo 3. Cuadro 3.5).

6.2.3. Suelos del sector.

Para establecer el tipo de suelo se identifico la textura del terreno, y se toma la altura de la ciudad de Loja, un rango que va desde los 1800 hasta los 2400 m sobre el nivel del mar. Los suelos del lugar presentan características pardo-rojizos, arcillosos con alto contenido de arcilla tipo montomorillonita pertenecen al tipo HAPLUSTALFS (I2), habituales a altitudes entre los1.800-2.400 m. Suelos con saturación de bases <50%, pH neutro. En términos generales son tierras aptas para cultivos agronómicos tales como: hortalizas, maíz, fréjol, arroz, yuca, maní, sandia, frutas tropicales, pastos, etc. La textura del suelo es Franco Arcilloso (Fo Ao), es muy común encontrar este tipo de suelos en Loja, Jimbilla, San Lucas, Chuquiribamba y Chantaco. La capacidad de almacenamiento de este tipo de suelos es de 30- 40 cm de profundidad (Anexos capitulo 3. Tabla 3.2 y 3.3).

6.3. Capacidad del terreno seleccionado para albergar ganado.

En este proyecto se empezara determinando el número de ganado que el sitio tiene la capacidad de albergar en función: de la cantidad de pasto que se tiene a disposición durante el año, consumo del mismo y su capacidad de regeneración para que estén nuevamente a disposición de la alimentación de los animales. El terreno cuenta con un área de 43514,5 m2 de los cuales se destinara 4 hectáreas para pastorear y lo restante será para la vía de traslado de ganado, vivienda, planta de biogás y zona de cultivo familiar, que son las áreas con que se trabajara.

"El pastoreo (Guía y cuidado del ganado en el campo) es una tradicional forma de hacer engorde por el bajo costo de producción. Por esta razón, es importante tener en cuenta una buena planificación y estructuración de los potreros para el buen manejo de pasturas. Para un aprovechamiento eficiente de pasturas es necesario dividir los potreros y realizar el pastoreo en forma rotacional. Las plantas forrajeras necesitan

un descanso mayor a 28 o 36 días en verano y hasta más de 45 días en invierno para que haya una acumulación de reserva de carbono en su sistema radicular, que servirá para una buena recuperación evitando el sobrepastoreo, el cual, hace que cada vez disminuya la producción de forrajes y aumente al mismo tiempo la presencia de malezas.

Tomando en cuenta diversos factores, lo recomendable y aceptable es subdividirlo el sitio de alimentación del ganado en 12 potreros. En este caso, pastoreando 3 días en cada potrero consumirá el 50 o el 60 % del pasto y cada uno de ellos tendría un descanso de 36 días hasta volverlo a pastorear, tiempo en el cual el pasto se recupera y estará en equilibrio entre la cantidad de proteína y fibra. En esta forma, el aprovechamiento de la pastura es bueno y se llega a pastorear cada potrero hasta 10 veces por año. Bajo este sistema de manejo lo que se persigue es obtener la mayor producción de forraje por hectárea de potrero, ofrecer al animal pasto de excelente calidad y evitar el sobrepastoreo.

El consumo de forraje en un potrero es más eficiente cuando se pastorea 1 día en cada potrero, llegando a consumir hasta el 70%, pero en este caso se requiere una mayor atención de los animales, considerando que el movimiento se lo tiene que hacer diariamente. Si se pastorea por 2 a 3 días en cada lote o parcela el consumo será del 50 a 60 %, que es bueno, y va disminuyendo a medida que aumentan los días de pastoreo, llegando al 30 % de consumo cuando se pastorea más de 10 días en un solo potrero. Normalmente una buena pastura produce por año 70.000 kg de materia verde por hectárea, y un animal de 300 kg consume aproximadamente 36 kg (12% de su peso corporal) de pasto por día"[16].

A continuación se detalle los pasos para el cálculo de animales que nuestra terreno tiene la capacidad de albergar, tomando en cuenta que los pastos tienen que regenerarse para que sigan alimentando a nuestro ganado.

6.3.1. Área para cada parcela o lote (Ap).

Un aspecto importante es la parcelación o lotización del terreno para alimentación ordenada del ganado y reposición de pastos. Por ello es importante determinar el número de parcelas (Np) que está en función del tiempo que se toman los pastos para reponerse (trp) y los días que va a pastear nuestro ganado en cada lote (n). Según el centro tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL), trp= 36 días y n= 3días por lote o parcela.

Np= trp / n
Np= 36 días / 3 días
Np=12 lotes o parcelas

[16] Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). (2006). Manual de Manejo para engorde de ganado Bovino. (En línea). (Consultado: 20 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.cetabol.cotasnet.com.bo/es/noveda/manu.pdf

Para determinar el área para cada parcela se necesita conocer de cuanto terreno disponemos para pastoreo. En nuestro caso el área del terreno disponible (At) es de 4 hectáreas (ha) para alimentar ganado.

Ap= At/ Np
Ap= 4ha/ 12 lotes = **0.33 hectáreas.**

6.3.2. Cantidad de pastos disponibles para pastorear por parcela o lote (Cpl).

Según el centro tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). La cantidad de pastos que produce un terreno en condiciones normales (Cpt) es de 70.000 kg de pasto por hectárea por año. Pastoreando 3 días de cada lote se aprovecha el 50% de cada lote.

Cpl= ApxCptx50%
Cpl= 0.33 ha x 70000 kg/ha x 50%
Cpl= **11666.66 Kg**

6.3.3. Cantidad de pastos aprovechados en cada pastoreo de n días (Cpa).

Según el centro tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). Si dividimos 365 días de cada año entre 36 días (tiempo para reponer pastos (trp)), tenemos aproximadamente 10, que es el número de veces a pastorear cada lote por año (Pa).

Pa= 365 días/año / trp
Pa= 365 días/año/ 36 días
Pa= 10.14 veces al año.

Cpa= Cpl/Pa.
Cpa= 11666.66 Kg / 10 = **1166.66 Kg** (Esta cantidad corresponde a pastos que serán aprovechados por los animales en cada pastoreo de 3 días).

6.3.4. Cantidad de animales que pueden pastorear en un día (A).

Según el centro tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). Un animal de 300 kg consume 36 kg de pasto por día (el 12% de su peso).

A= Cpa/Consumo del animal de pastos diario.
A= 1166.66 Kg/ 36 Kg = **32.40 animales**

6.3.5. Cantidad de animales que pueden pastorear en n días (An).

Según el centro tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). Si se pastorea por 2 a 3 días en cada lote o parcela el consumo de pastos será del 50 a 60 %, que es lo recomendable. Vamos a considerar 3 días van a disponer para alimentación en cada parcela o lote.

An= A/n

An= 32.40 animales/3= **10.8 animales** (pastorearemos 3 días, entonces, tendremos entonces 11 cabezas por lote de 0.33 hectáreas por día).

En conclusión en un lote de 4 hectáreas, con 12 divisiones y con períodos de pastoreo de 3 días podremos engordar en un año 11 cabezas de ganado de 300 kg; lo que hace 2,7 cabezas de ganado/ha.

6.3.6. Capacidad de reciclaje de materia orgánica.

Una vez que conocemos la capacidad de albergue de nuestro terreno podemos determinar la cantidad de materia orgánica que podemos reciclar y los usos que le podemos dar. Una cabeza de ganado vacuno de carne de 300 Kg o 661 lb produce 20.4 Kg/día o 45 lb/día de estiércol (Tabla 4, Capitulo 1). Es decir 11 cabezas de ganado vacuno nos generan **224.4 Kg/día de estiércol**. Esto es la capacidad de reciclaje de materia orgánica que tenemos en 4 hectáreas de terreno, con 11 animales.

6.3.7. Calculo de la producción diaria de gas (G).

"La cantidad de biogás generada cada día (G) se calcula sobre la base del gas producido (Gy) que produce la unidad de sustrato y la cantidad diaria de sustrato. El valor de Gy puede ser estimado a partir de datos de la literatura y representa la cantidad de gas equivalente producido por unidad de sólidos volátiles o de masa húmeda o por animal doméstico. De esta manera el cálculo se puede realizar en términos de:

A. Contenido de Sólidos volátiles:
*G = Sólidos volátiles (Kg/día) * Gy (m3 / día de biogás por unidad sólidos volátiles).*

B. El peso de la masa húmeda:
*G = Kg biomasa * Gy (m3 / día de biogás por unidad de masa húmeda).*

C. Valores estándar por animal doméstico:
*G = #de animales * Gy (m3 / día de biogás por unidad de especies domésticas)"*[17].

El cálculo de la cantidad de biogás diaria se pude obtener con las tres fórmulas anteriores, el uso de cada una depende de los datos que dispongamos en nuestro caso vamos a utilizar las fórmulas B y C, por disposición de la información.

Se puede calcular la cantidad de biogás producido diariamente en función del peso de la biomasa. En nuestro caso el estiércol producido por 11 animales es de 224.4 Kg/día de estiércol. El estiércol de ganado vacuno rinde de 15-40 litros (lt) de biogás por cada kg (Tabla 14,

[17] VINASCO JUAN PABLO. Tecnología del biogás. (En Línea). (Consultado el 21 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

Capítulo 1). Para este proyecto vamos a suponer que la producción de biogás es de 40 lt/Kg que equivale a 0.04 m3/Kg.

El peso de la masa húmeda:

G= Kg biomasa * Gy (m3 / día de biogás por unidad de masa húmeda)

G= 224.4 Kg/día x 0.04 m3/día

G= 8.97 m3/día

La producción de biogás/día se puede obtener con valores estándares. Un animal de similares características al de nuestro proyecto produce 0.78 m3 de biogás por cabeza (Tabla 15, Capitulo 1).

Valores estándar por animal doméstico:

G= #de animales * Gy (m3 / día de biogás por unidad de especies domésticas)

G= 11 animales x 0.78 m3/animal

G= 8.58 m3/día

Los valores obtenidos utilizando el peso de la biomasa, y valores estándares bordean los 9 m3/día. No resulta ser los mismos porque los datos son bibliográficos pertenecen a diferentes autores.

6.4. Dimensionamiento de la planta de biogás.

El Biodigestor seleccionado corresponde al sistema de carga continuo, es decir es cargado de materia orgánica diariamente. El modelo seleccionado es óptimo para la utilización en la vivienda rural, el mantenimiento del biodigestor se acopla a la rutina cotidiana de la finca. A continuación se procederá a calcular la cantidad de biomasa y biogás que se necesita para cocinar a 4 personas/día; hacer funcionar un calefón para calentar agua en 2 duchas y un lavaplatos o lavado durante 1 hora con 40 minutos; y producir luz eléctrica con 16 lámparas de bajo consumo por 5 horas (La energía eléctrica se obtendrá por cogeneración).

Metodología para el cálculo:

6.4.1. Volumen de biogás necesario (Vbn).

Vbn= Vbn1 + Vbn2+Vbn3

Vbn= 1.2 m3/día + 4.3 m3/día + 1.58 m3/día

Vbn= **7.08 m3/día.**

Volumen de biogás necesario para cocinar (Vbn1).

"(Vbnc). Volumen de biogás necesario diario para la cocción para una persona, (0.20 a 0.3 m3/ día persona) "[18].

Vbn1= Vbnc x n

[18] Dr. Rómulo Ruiz S. (2006). Producción de biogás empleando biomasa Agropecuaria. (En Línea). (Consultado el: 20 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.sendas.org.ec/docs/utilizacion_del_biogas.pdf

Vbn1= 0.30 m3 x 4 personas
Vbn1=1.2 m3/día

Volumen de biogás necesario para calefón (Vbn2).

Para calentar 2 duchas + 1 lavadero de cocina utilizaremos un calefón cuyo caudal sea de 10 lt/min, este tiene un consumo de 2.60 m3 de biogás/hora de funcionamiento (Tabla 8, Capitulo 1). Se considera que cada persona se demora en bañarse 10 min, si son 4 miembros tendremos que se necesitan 40 minutos. Para el lavado de cocina se estimara un uso de 20 min por alimento son 3 al día, esto nos da un uso de 1hora para lavar platos, es decir requerimos de 1 hora con 40 minutos diarios para el uso de calefón.

Vnb2= Consumo del calefón (lm3/60 minutos) x tiempo que se quiere usar el calefón (minutos)
Vnb2= 2.60 m3/60 min x 100 min
Vnb2= 4.3 m3/día

Volumen de biogás necesario para cogeneración (Vbn3).

Para cogeneración del biogás se necesita 0.62 m3/Kwh: 2 Kw térmica. Entonces lo que se pretende es producir luz eléctrica desde las 19h00 hasta las 24h00, esto es 5 horas por día de luz. Se empleara Lámparas de bajo consumo de 32 vatios (W) equivalente a foco incandescente de 150 vatios (W) de potencia o 120 V de Voltaje, que ofrece la misma intensidad de luz (los mismos lúmenes). El número de lámparas que se requiere para iluminar la vivienda es de 16.

Energía consumida por cada lámpara de bajo consumo:
Eca = Pae x tpa
Eca= 0.032 KW x 1h
Eca= 0.032 Kwh.

Nota: 1Kw= 1000w
(Eca) Energía consumida por el artefacto (Kwh).
(Pae) Potencia del artefacto eléctrico (Kw).
(Tpa) Tiempo que esta prendido el artefacto (h).
Nuestros 16 focos consumirían 0.512 kwh, y estos al momento de funcionar por 5 horas consumirían 2.56 Kw. Ahora podemos calcular el volumen de biogás necesario para cogeneración.

Vbn3= Cantidad necesaria de biogás para cogeneración (m3/Kwh) x Consumo de artefactos que queremos hacer funcionar (Kw/h).
Vbn3= 0.62 m3 biogás/Kw-h x 2.56 Kw-h
Vbn3= 1.58 m3/día

6.4.2. Volumen de biogás Real (Vbr).

"Se recomienda adicionar del 10 al 20% como medida de seguridad. Es decir al volumen de biogás real (Vbr) sumarle el 10 0 20% adicional. En nuestro caso le adicionaremos el 10%".

Vbr= (Vndx10%) +Vbn.
Vbr= (7.08 m3/día x 10%) + 7.08 m3/día.
Vbr= **7.8 m3/día**

6.4.3. Cantidad de biomasa necesaria por día (Cbn).

Como ya conocemos la cantidad de biogás diaria de debemos producir, 7.80 m3/día, vamos a calcular la cantidad necesaria de biomasa por día, en función del peso de la masa húmeda (Ver punto 6.3.7 – B). El estiércol de ganado de carne de 300 Kg rinde de 15-40 litros (lt) de biogás por cada kg (Tabla 13, Capítulo 1). Para este proyecto vamos a suponer que la producción de biogás es de 40 lt/Kg que equivale a 0.04 m3/Kg. Entonces G=7.80 m3/día; Gy=0.04 m3/Kg.

G= Bn x Gy
Bn= G/Gy

Donde:
Bn= Biomasa necesaria (Kg/día)
G= Producción diaria de gas. (m3 /día)
Gy= *m3 / día de biogás por unidad de masa húmeda*

Bn= 7.80 m3/día/0.04 m3/Kg
Bn=**195 Kg por día**

6.4.4. Volumen del Digestor (VD).

"Por cuanto el estiércol o residuo contiene una buena parte de agua (80 a 90%), podemos asumir que 1 kg de residuo equivale a 1 litro. Para formar el sustrato que ingresa al digestor se diluye el estiércol con agua en proporciones de 1 a 1 o 1 a 2 (u otras, dependiendo del residuo) y la cantidad de sustrato es la suma del agua más el estiércol. El volumen del digestor se calcula con la relación. VD = TS - FD× RT"[19]

Donde:

VD = Volumen del digestor en m3
Cbn o TS = Contenido total de sólidos que ingresan al digestor en kg o litros por día
FD = Factor de dilución del residuo: 2 = 1 de agua + 1 de residuo; 3 = 2 de agua + 1 de residuo, etc.
Tr o RT = Tiempo de retención en días.

[19] Santiago J. Sánchez Miño.(2003). Energías Renovables, Conceptos y Aplicaciones. (En Línea). (Consultado el: 4 de Noviembre, 2008). Disponible en: http://www.uni-oldenburg.de/ppre/download/Downloads/ENERG%CDAS_RENOVABLES.pdf

El tiempo de retención del estiércol del ganado vacuno líquido va de 20-30 días (Tabla 16, Capitulo 1), para el diseño vamos a trabajar con un tiempo de retención de 30 días. La mezcla del sustrato con que se va a trabajar es 1:1 o 50% agua más 50% materia orgánica (Tabla 19, Capitulo 2). La Cantidad de biomasa por día que requerimos es igual a 195 Kg, debemos expresarla en m3/día para ello necesitamos la densidad de estiércol, que es igual a 60 lb/pie3 que equivale a 961 Kg/m3, es decir 195 Kg equivale a 0.20 m3/día. Entonces:

- ✓ Cbn o TS= 0.20 m3/día sin agua
- ✓ FD= 2, 1 de agua + 1 de residuo; FD= 2 x 195 Kg = 390 Kg como 1 kg de sustrato ≈ 1 litro, y 1 m3 = 1000 litros, entonces Total sustrato en m3 = 0,39 m3 / día
- ✓ Tr o RT= 30 días.

Para nuestro nomenclatura la fórmula sería: VD= FD x Tr.

VD= 0.39 m3/día x 30 días
VD= **11.70 m3**

6.4.5. Volumen del Tanque de Almacenamiento de biogás (VG).

"La experiencia práctica indica que el 40 – 60% de la producción diaria de gas normalmente tiene que ser almacenada por lo tanto en la mayoría de los casos se requiere de un tanque de almacenamiento del biogás.

El tamaño del tanque de almacenamiento (Volumen) depende de las velocidades relativas de generación y de consumo de biogás y el puede ser dimensionado para:

A. Cubrir la velocidad pico de consumo (Vg1): en este caso el tamaño se determina con base al máximo consumo de gas:

*Volumen del tanque máximo consumo de gas = (Gc, max.) *(tc, max)*
Gc, max = máximo consumo gas horario.
tc, max = tiempo de máximo consumo (h).

B. Mantener el gas producido durante el período de cero consumo: en este caso el tamaño se determina con base en el tiempo de cero consumo de gas:

*Volumen del tanque periodo de cero consumo = (G) *(tz, max.)*
G = producción de gas.
tz, max = tiempo máximo de cero consumo.

El tamaño final se selecciona dependiendo mayor valor obtenido de la situación A o B. Un margen de seguridad del 10 al 20% debe ser agregado. Un factor importante en el dimensionamiento del sistema tiene que ver con la relación Volumen del digestor / volumen del tanque de almacenamiento. Para una planta de biogás agrícola, la relación Vd/Vg está en el rango de 3:1 a 10:1; recomendándose la relación 5:1 a 6:1"[20]

Vab= 0.6 x Vbr
Vab= 0.6 x 7.8 m3
Vab= **4.7 m3**

6.5. Zonificación General.

La estancia de los animales conlleva espacio para pastorear, Se eligió como forma de mantención del ganado el pastoreo rotacional, esto nos lleva a subdividir el terreno en 12 lotes o parcelas lo cual nos asegura la regeneración de los pastos y por ende alimentación del ganado los 365 días del año. El traslado de los animales hacia cada lote o parcela se da por una vía que divide al terreno en dos, facilitando la labor, también permite el traslado del estiércol recolectado en el campo hacia el biodigestor que se encuentra junto a la vivienda a un lado de la vía.

La ubicación de la vivienda y planta de biogás se torna importante porque hasta aquí hay que llevar el material orgánico (Estiércol) recolectado de los campos. La casa se ubica en una posición central del terreno, esto permite que las distancias para recoger el material orgánico sea corto, sumado con la lotización para pastoreo se reduce el área de recolección del estiércol. Es más fácil recolectar estiércol en 0.33 hectáreas (Área que dispone cada lote o parcela) que en 4 hectáreas (Área total de pastoreo) **(Ver plano 1).**

6.6. Planta de biogás.

Antes de iniciar con los diagramas de proceso y detalle de ingeniería, es importante determinar la ubicación del biodigestor y gasómetro en el contexto de la vivienda y el terreno. El biodigestor se encuentra en un patio cerca a la cocina, y al cuarto de maquinas (Área de servicio), este patio permite una conexión con la vía de traslado del ganado, la vivienda y huertos. Esto quiere decir que la vía nos da facilidades para recolección del estiércol, la cercanía a la vivienda nos permite facilidades operacionales (Mantener el biodigestor es una labor cotidiana del hogar), disponer el huerto familiar cerca de la vivienda y planta de biogás permite la dispersión del abono obtenido de forma rápida. **(Ver plano 2 y 3).**

[20] Juan Pablo Silva Vinasco. Tecnología del biogás. (En Línea). (Consultado el 21 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

6.6.1. Diagramas de procesos.

Para el desarrollo del diagrama de proceso se tomo en cuenta parámetros como: Seguridad, mantenimiento, y desarrollo en condiciones apropiadas. El proceso empieza desde que se vierte la materia orgánica en el biodigestor, este es alimentado diariamente con biomasa (estiércol líquido), por ende la biomasa que ingresa al biodigestor es igual al efluente que sale, y para este se requiere dos cajas: la una sirve introducir el material al biodigestor y la otra para retirar el abono.

Durante el proceso de biodigestión se producen una serie de gases, de estos existen perjudiciales para el proceso uno de ellos es el ácido sulfhídrico (H_2S) que equivale el 0.18% del biogás (Tabla 5, Capítulo 1), el otro son las trazas de vapor de agua. A este hay que purificarlo porque resulta corrosivo para las partes metálicas como estufas de cocina, tuberías del calefón y el motor, para su eliminación se utiliza un filtro que puede realizárselo con un tubo PVC y dentro de él virutas de hierro, se lo ubica a la salida del gas del biodigestor.

Es importante controlar la dirección del flujo, para ello sea emplean válvulas check. Para el control de la presión de salida del biogás se requiere manómetros, si la presión es demasiado alta se emplean válvulas liberadoras de presión, y para regular el flujo se usan válvulas de bola. Se prevé seguridad con todos estos accesorios.

Para usos de biogás en cocina y el calefón se requiere quemarlo directamente, mientras que para la cogeneración se necesita verificar la presión de salida del biogás del gasómetro si encaso no es suficiente se puede usar un compresor o colocar peso sobre gasómetro para obtener más presión, pero el biogás al ser quemado en el motor generador suele ser absorbido directamente. **(Ver plano 4).**

6.6.2. Detalle del digestor.

El biodigestor seleccionado corresponde al sistema de biomasa suspendida de flujo pistón, la geometría seleccionada es cilíndrica en una relación 6:1. Con esto se inicia el diseño del biodigestor.

"Sistemas de Biomasa Suspendida en Flujo Pistón. *En estos sistemas él purín no se encuentra homogéneo o mezclado totalmente, sino que entra al biodigestor por un extremo y se va degradando a medida que avanza dentro de éste, hasta llegar al otro extremo que es la salida, de ahí el nombre flujo pistón. Un biodigestor de tecnología de bajo costo es el de flujo pistón para bajos caudales. Aunque su utilización sea factible para pequeños productores, significa una solución económicamente accesible, que además otorga beneficios a quien lo implemente. Las eficiencias promedio de estas tecnologías de bajo costo son altas por tratarse de sistemas para bajos caudales y tiempos de retención sobre los 25 días. La remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) es de un 65% y del nitrógeno es de un 45%. Los coliformes se eliminan en un 90%.*

Se puede seleccionar 2 tipos de geometrías para el biodigestor en este sistema: cilíndrico donde se aplica una relación, largo: diámetro de 6:1, para esto se aplica la siguiente fórmula: Vb = 3,14 x L x D²/4; y la otra es la rectangular, se aplica una relación altura: diámetro de 1:2 para la dimensión espacial de este tipo de geometrías, considerando además un rango de diámetro (o ancho) entr²e 6 y 26 m y de altura entre 3 y 13 m, se aplica la siguiente fórmula: Vb = 3,14 · H · D²/4"[21].

Donde:

Vb: Volumen del biodigestor en m3

L: Largo del biodigestor en m.

H: Altura del biodigestor en m.

D: Diámetro del biodigestor en m.

II: Radianes (a dimensional), considerar 3,14.

Seleccionado la geometría del digestor calcularemos sus magnitudes, ya conocemos el volumen del biodigestor (11.70 m3). Primero determinaremos el largo, vamos a trabaja con 7 m de largo. Entonces:

Vb = 3,14 x L x D²/4

D²= 4Vb/3.14 x L

D²= 4 x 11.70 m3/ 3.14 x 7 m

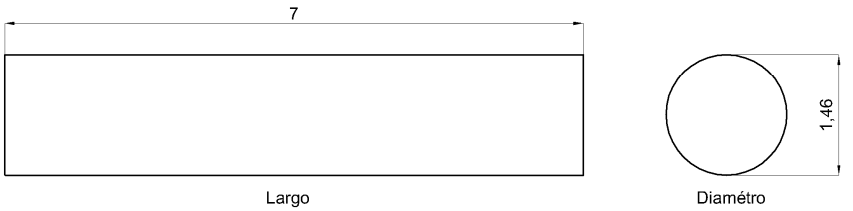
D²= 2.13 m2

D= 1.46 m

[21] José María Peralta Alba. (2005). Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. (En Línea). (Consultado el: 4 de Noviembre, 2008). Disponible en: http://www.sag.gob.cl/pls/portal/docs/PAGE/PG_SAG_BIBLIOTECA/BIBL_MEDAMB/BIBLIO_MA_GAMB/BIBLIO_MA_GAMB_DOCS/MANEJO_PURINES_PORCINOS.PDF

En conclusión el biodigestor tendrá de largo (L) 7m, y diámetro (D) 1.46 m.

Figura 14: Geometría del Biodigestor seleccionado



Para empezar a construir el Biodigestor se tiene que excavar una zanja que tiene una inclinación de 2° hacia la trampa de lodos del digestor, esto permite evacuar la materia orgánica cuando se requiere realizar mantenimiento. La cajas de entrada y salida de biomasa y efluente respectivamente, son de de ladrillos con una tapa que permite cerrarlas cuando las condiciones climáticas no sean favorables. Para conseguir el efecto sifón al momento de entrar y salir la materia orgánica los tubos tienen una inclinación de 45°. Los materiales con que se construye son: malla electrosoldada y concreto, se eligió estos materiales por su durabilidad, la viabilidad económica de un proyecto de biodigestión está dado por el precio final de la planta, cuanta energía vamos a ahorrar y la durabilidad del sistema. A la salida del biodigestor hay que colocar una trampa que nos permite eliminar el ácido sulfhídrico y vapor de agua, este consiste en unos tubos con virutas de hierro en su interior. **(Ver plano 9 y 10)**

6.6.3. Detalle del Gasómetro.

La geometría del gasómetro será determinada de la misma forma que el biodigestor. Nuestro biodigestor albergara el 60% de biogás producido, es decir 4.70 m3. La relación del digestor seleccionado es 6:1, empezaremos a determinar el largo (L=4m), para determinar después su diámetro:

Vb = 3,14 x L x D²/4

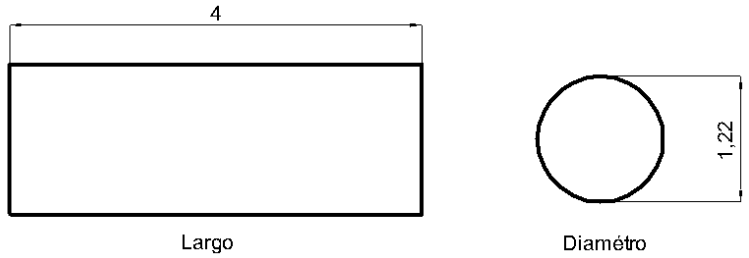
D²= 4Vb/3.14 x L

D²= 4 x 4.70 m3/ 3.14 x 4 m

D²= 1.49 m2

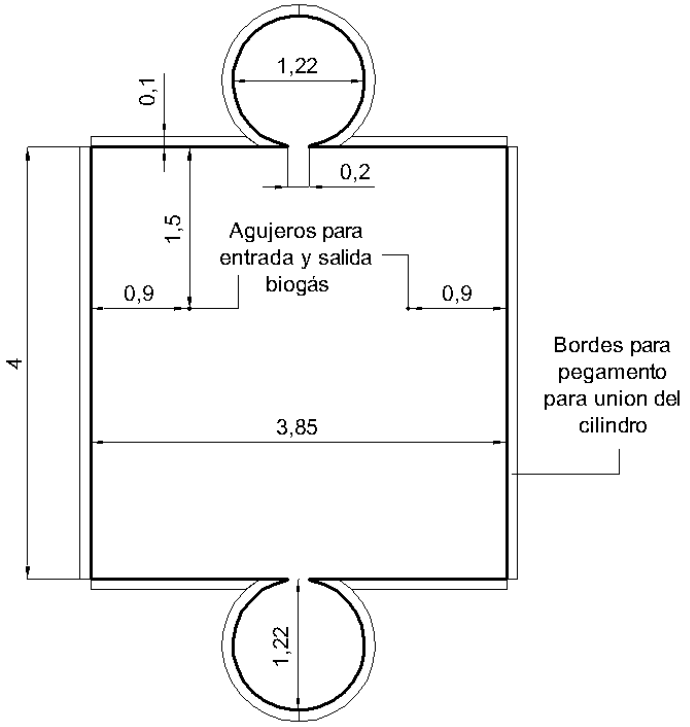
D= 1.22 m

Figura 15: Geometría del Gasómetro



El gasómetro es de estructura flexible, es decir es realizado con plástico que soporta las presiones que genera el biogás, Para armar la bolsa hay dejar bordes alrededor de la silueta del cilindro para agregar pegamento, después, es necesario sellar los borde. A continuación del gasómetro en dirección a la cocina, calefón y motor se coloca una trampa liberadora de presión, esta consiste en una botella de agua con agujeros, conectada con la tubería principal con un Tee de PVC **(Ver plano 9 y 10)**

Figura 16. Armado del Gasómetro



6.6.4. Tubería, Válvulas, Manómetro, Motor generador.

Para el ingreso de la biomasa liquida, salida del Efluente y lodos se selecciono tubería de PVC de alta presión de diámetro (d) igual a 200 mm y espesor (e) igual a 2.3 mm, esto no permite un buen funcionamiento del sistema. La conducción del biogás se realiza con tubo PVC de alta presión de diámetro 25 mm y espesor 2.3 mm. El manómetro seleccionado es de baja presión y se los utiliza para saber la presión de salida del biodigestor.

Se emplea válvulas check para controlar la dirección del biogás, nos interesa que el biogás no regrese al biodigestor. Se considero válvulas de bola porque sirven para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza por tener forma de esfera perforada el mecanismo regulador situado en el interior. El manómetro utilizado permite medir escalas entre los 0- 300 PSI, de usos múltiples y nos da la posibilidad de tener información acerca de las presiones de salida del biogás.

El calefón seleccionado es de 10 lt/min porque este nos permite mantener funcionando 2 duchas y un lavaplatos o lavadero de agua caliente. La cantidad de energía que necesitamos generar es de 0.512 Kw por hora, es decir 2.56 Kw al día. Quiere decir que el motor tiene que generar esta cantidad de energía, entonces el motor elegido es de 3.4 Hp (nosotros emplearemos uno de 6Hp), debido a la disposición en el mercado.

6.7. Vivienda.

Un proyecto de biodigestión conlleva un sistema de instalación especial como es la planta de biogás, el espacio requerido depende de los fines que tiene la planta, el objetivo de este trabajo es el diseño de una planta de biogás para (cocinar, calefón, cogeneración), pero se analiza el dimensionamiento de una planta para (cocinar, calefón), y simplemente cocinar.

En un proyecto de biodigestor con fines energéticos lo más importante es el aprovisionamiento de biomasa, por este motivo se enfoco la propuesta hacia la vivienda rural, lo cual nos asegura extensiones territoriales aptas para actividades agrícolas, lo que desencadena posibilidades de obtención de biomasa sin costo a través de reciclaje, y además beneficios ecológicos tratando desechos sólidos (estiércoles). El limitar el proyecto a una provincia, ciudad, nos da condiciones ambientales y poblacionales, estas arrojan objetivos que se le quiera dar al proyecto en cuanto a cantidad de energía que queremos producir, precio del sistema, viabilidad económica y ambiental, también nos da a conocer si se requieren sistemas de calefacción para lograr las temperaturas adecuadas en el proceso.

Para el diseño de la vivienda se considero la prefabricación de sus elementos constructivos, lo cual facilita su ensamblaje, los elementos constructivos de las viviendas prefabricadas permiten ser ensamblados de forma rápida y económica, en cuanto al ahorro de materiales.

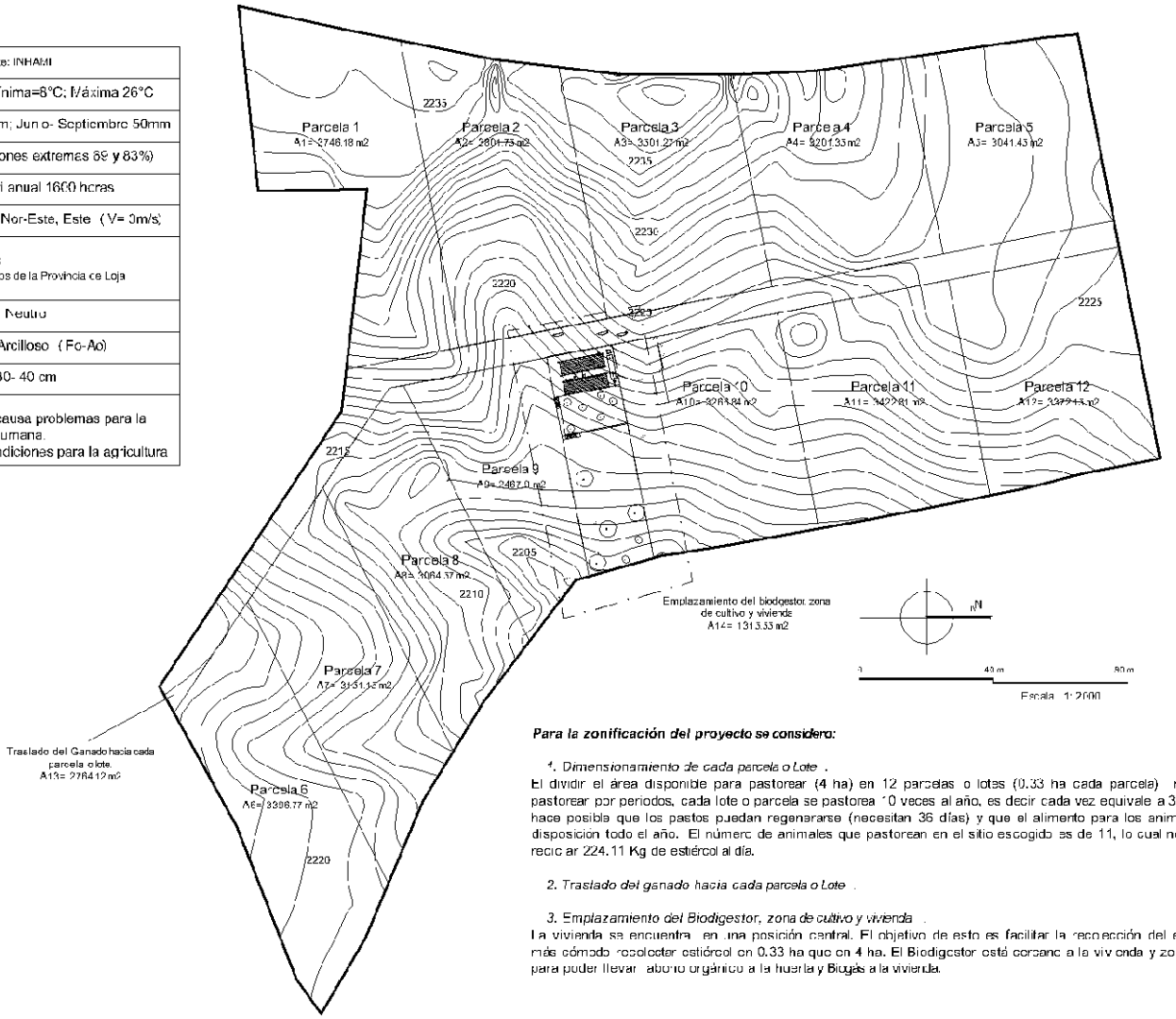
La vivienda está formada estructuralmente por una armadura de perfiles metálicos, las paredes son de paneles de hormigón, pintados interiormente de rojo oscuro para disminuir la intensidad lumínica del exterior. La vivienda se encuentra suspendida del suelo por medio de pilares de hormigón armado, lo cual nos permite aislar la estructura metálica de la corrosión causada por la humedad del suelo.

Para su diseño se considero iluminación, ventilación natural, espacio para la horticultura, la cubierta está destinada para este fin, La casa integra espacios por separado para maquinas así como para el gasómetro de la planta de biogás.

La vivienda se encuentra emplazada en un terreno inclinado, para lo cual se opto por formar 2 terrazas, una para la vivienda y otra para el huerto, Este queda en una terraza plana lo cual crea condiciones para desarrollar la horticultura y facilita la evacuación de lodos cuando se le de mantenimiento al biodigestor (**Ver planos 5,6,7,8**).

Condiciones Climáticas Fuente: INHAMI	
Temperatura Media (Estable)	Media= 16°C; Mínima=8°C; Máxima 26°C
LLuvias	Enero- Abril 110 mm; Junio- Septiembre 50mm
Hemecad Relativa	75% (Fluctuaciones extremas 88 y 83%)
Brillo Solar (Estable)	Suma pluri anual 1600 horas
Vientos (Reducido	Dirección Norte, Nor-Este, Este (V= 3m/s;
Condiciones de Suelos Fuente: Plan Integral de desarrollo de recursos hídricos de la Provincia de Loja	
PH	Neutro
Textura	Franco- Arcilloso (Fo-Ao)
Capacidad de Agua	30- 40 cm
Conclusión 1. El clima de la ciudad de Loja no causa problemas para la convivencia animal, vegetal y humana. Conclusión 2. El terreno seleccionado presenta condiciones para la agricultura	

A1= 3746.18 m2
A2= 3801.75 m2
A3= 3501.27 m2
A4= 3201.35 m2
A5= 3041.45 m2
A6= 3396.77 m2
A7= 3151.15 m2
A8= 3064.57 m2
A9= 2467.0 m2
A10= 3266.84 m2
A11= 3422.81 m2
A12= 3372.15 m2
A13= 2764.12 m2
A14= 1315.35 m2
AT= 43514.5 m2



Para la zonificación del proyecto se considero:

1. Dimensionamiento de cada parcela o Lote .

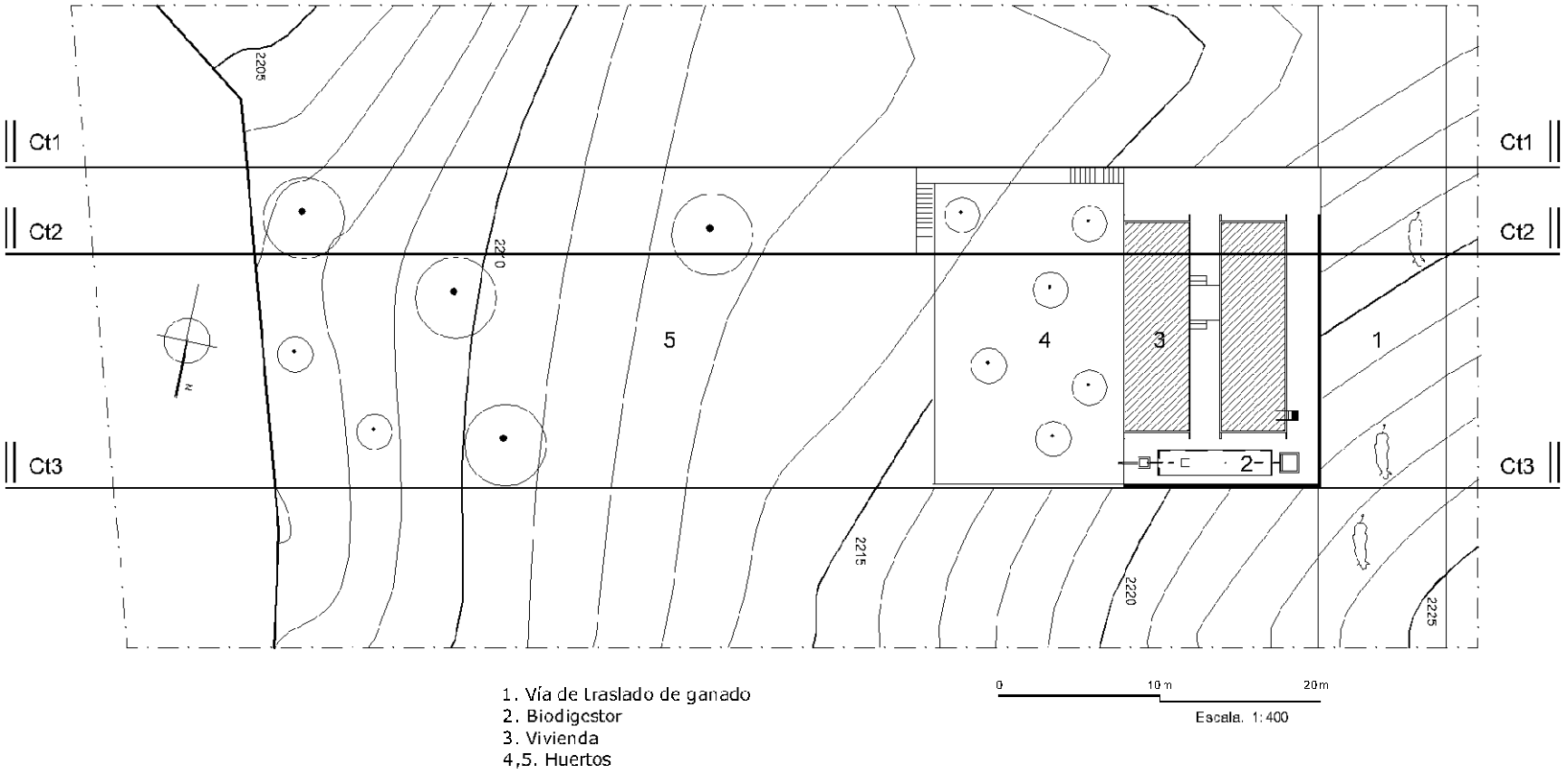
El dividir el área disponible para pastorear (4 ha) en 12 parcelas o lotes (0.33 ha cada parcela) nos permite pastorear por periodos, cada lote o parcela se pastorea 10 veces al año, es decir cada vez equivale a 3 días lo que hace posible que los pastos puedan regenerarse (necesitan 36 días) y que el alimento para los animales este a disposición todo el año. El número de animales que pastorean en el sitio escogido es de 11, lo cual nos permitirá recic ar 224.11 Kg de estiércol al día.

2. Traslado del ganado hacia cada parcela o Lote .

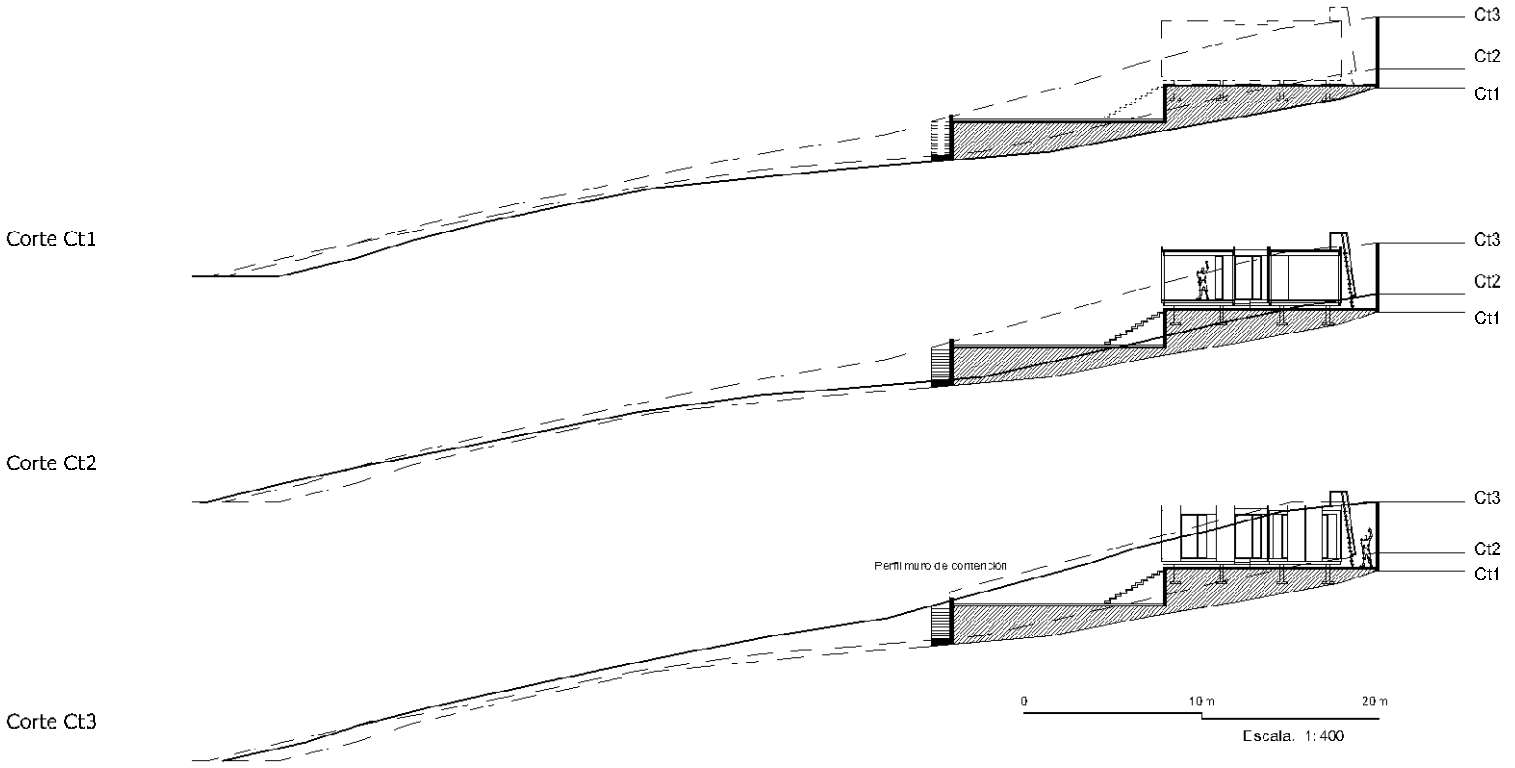
3. Emplazamiento del Biodigestor, zona de cultivo y vivienda .

La vivienda se encuentra en una posición central. El objetivo de esto es facilitar la recolección del estiércol, es más cómodo recolectar estiércol en 0.33 ha que en 4 ha. El Biodigestor esté cercano a la vivienda y zona de cultivo para poder llevar abono orgánico a la huerta y Biogás a la vivienda.

Plano 1. Zonificación general

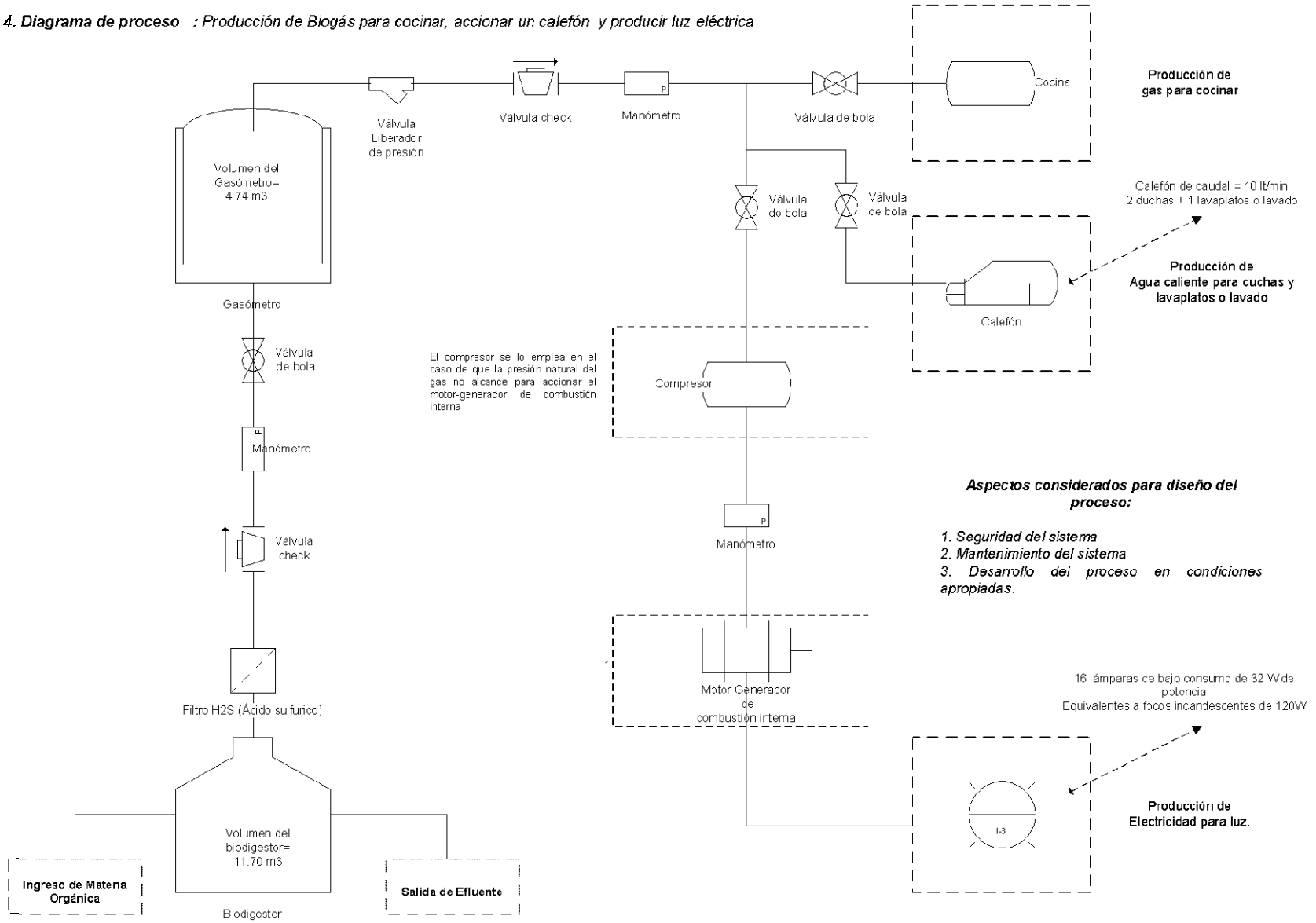


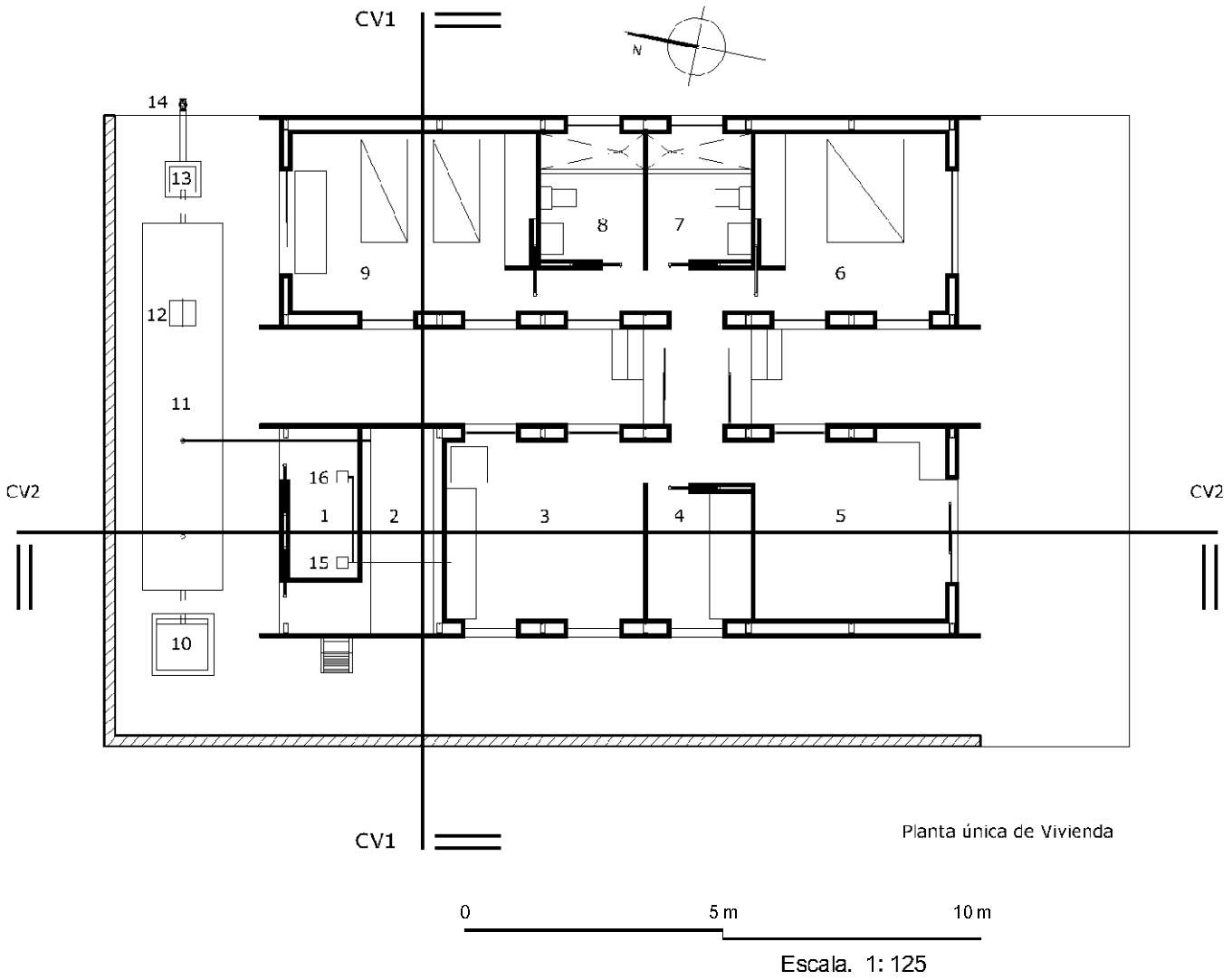
Plano2. Ubicación vivienda, planta de biogás



Plano 3. Cortes del terreno

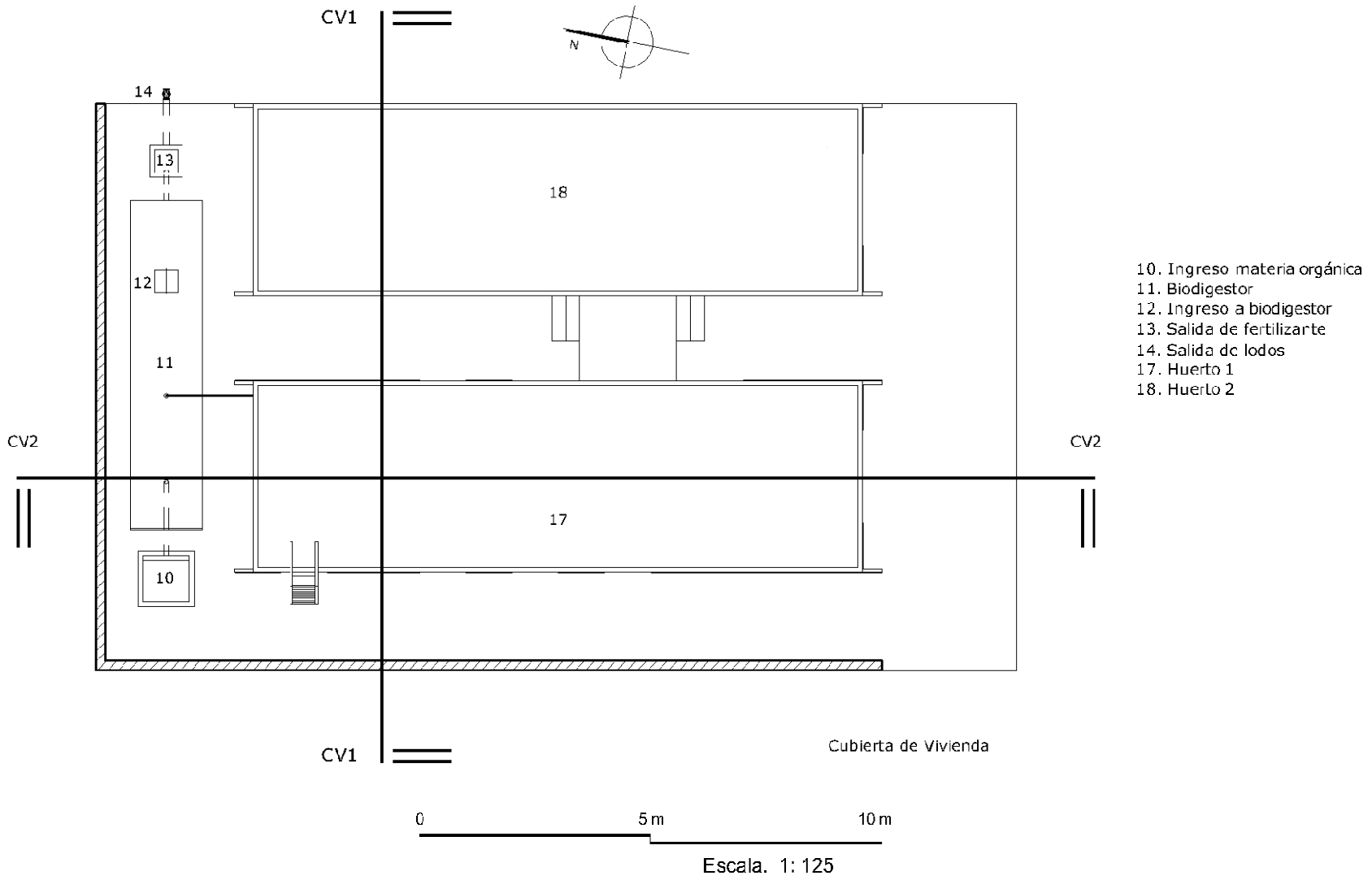
Plano 4. Diagrama de proceso *: Producción de Biogás para cocinar, accionar un calefón y producir luz eléctrica*



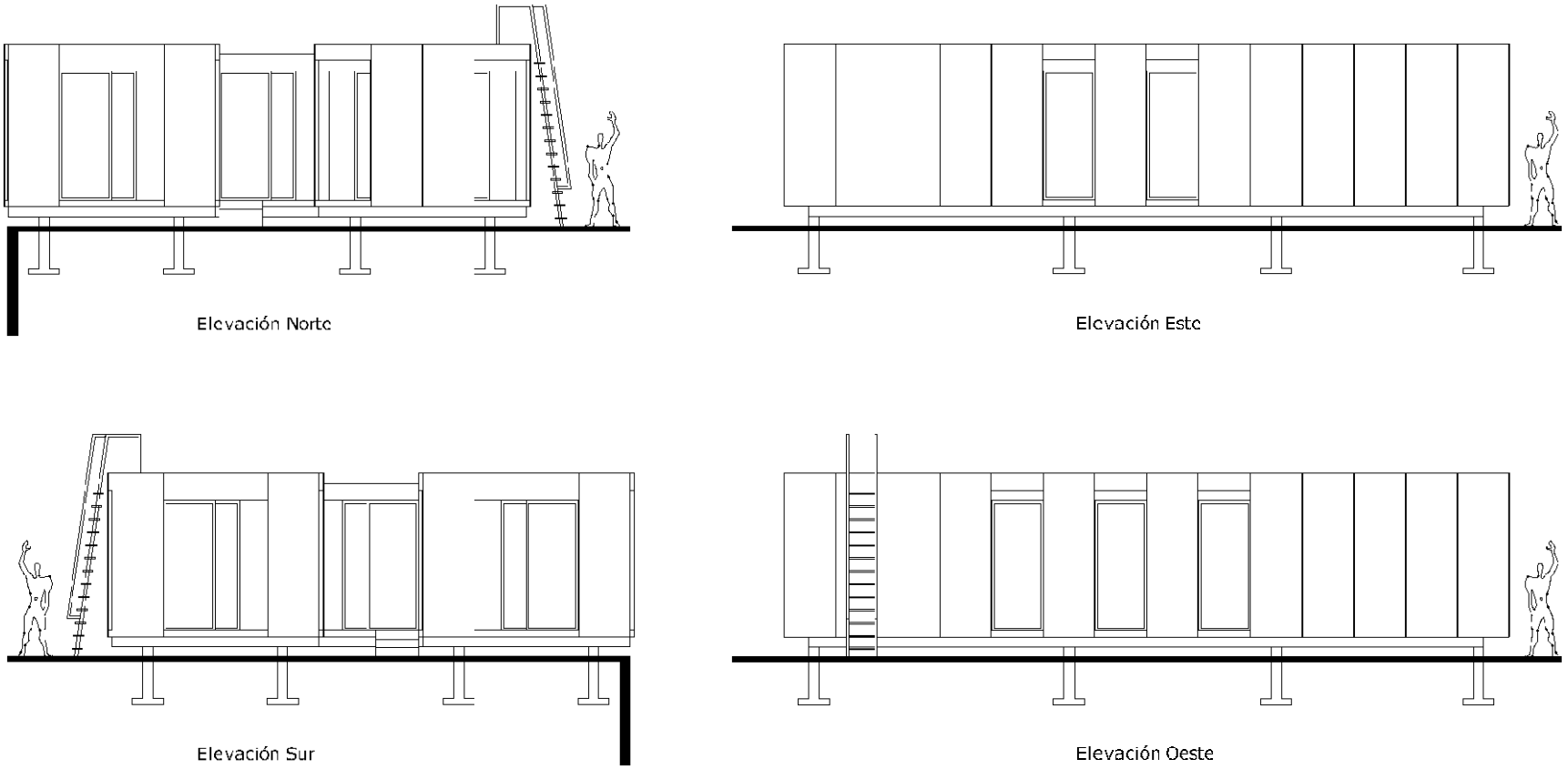


1. Cuarto de Maquinas
2. Cuarto para Gasómetro
3. Cocina, Comedor
4. Cuarto de lavado y planchado
5. Sala
6. Cuarto padres
7. Baño
8. Baño
9. Cuarto hijos
10. Ingreso materia orgánica
11. Biodigestor
12. Ingreso a biodigestor
13. Salida de fertilizante
14. Salida de lodos
15. Motor-Generador eléctrico
16. Calefón

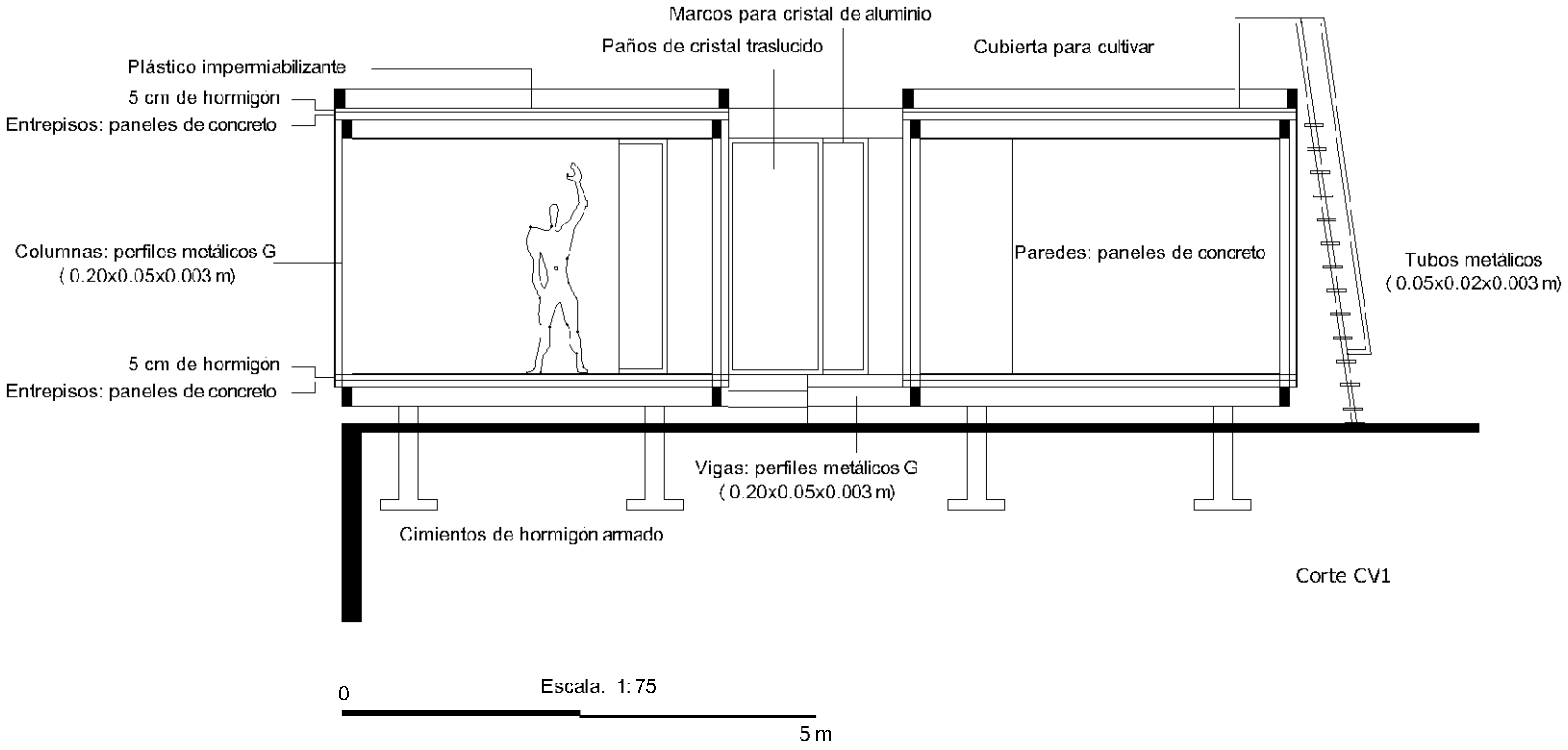
Plano 5. Planta de vivienda



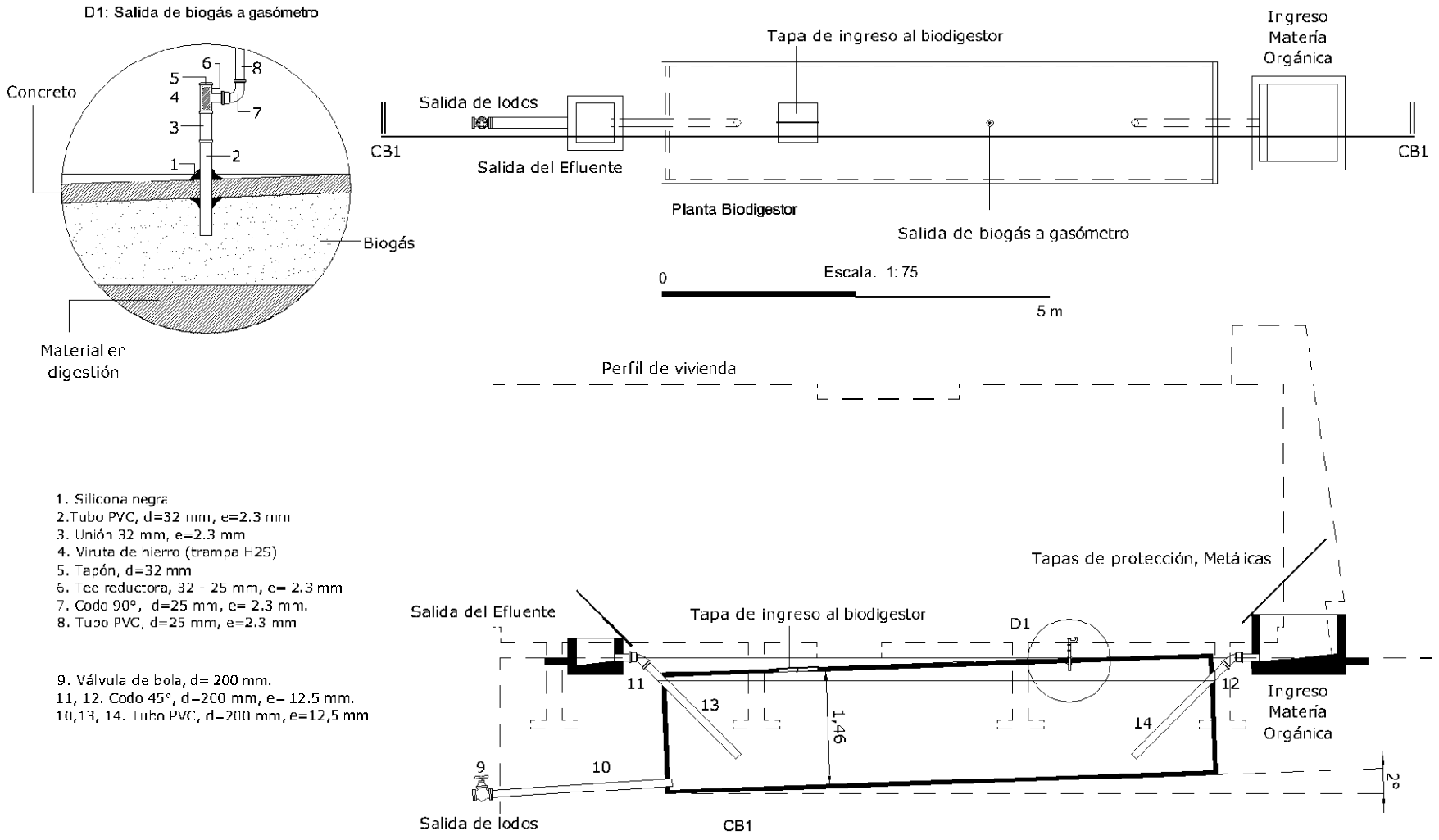
Plano 6. Cubierta de vivienda



Plano 7. Elevaciones de la vivienda



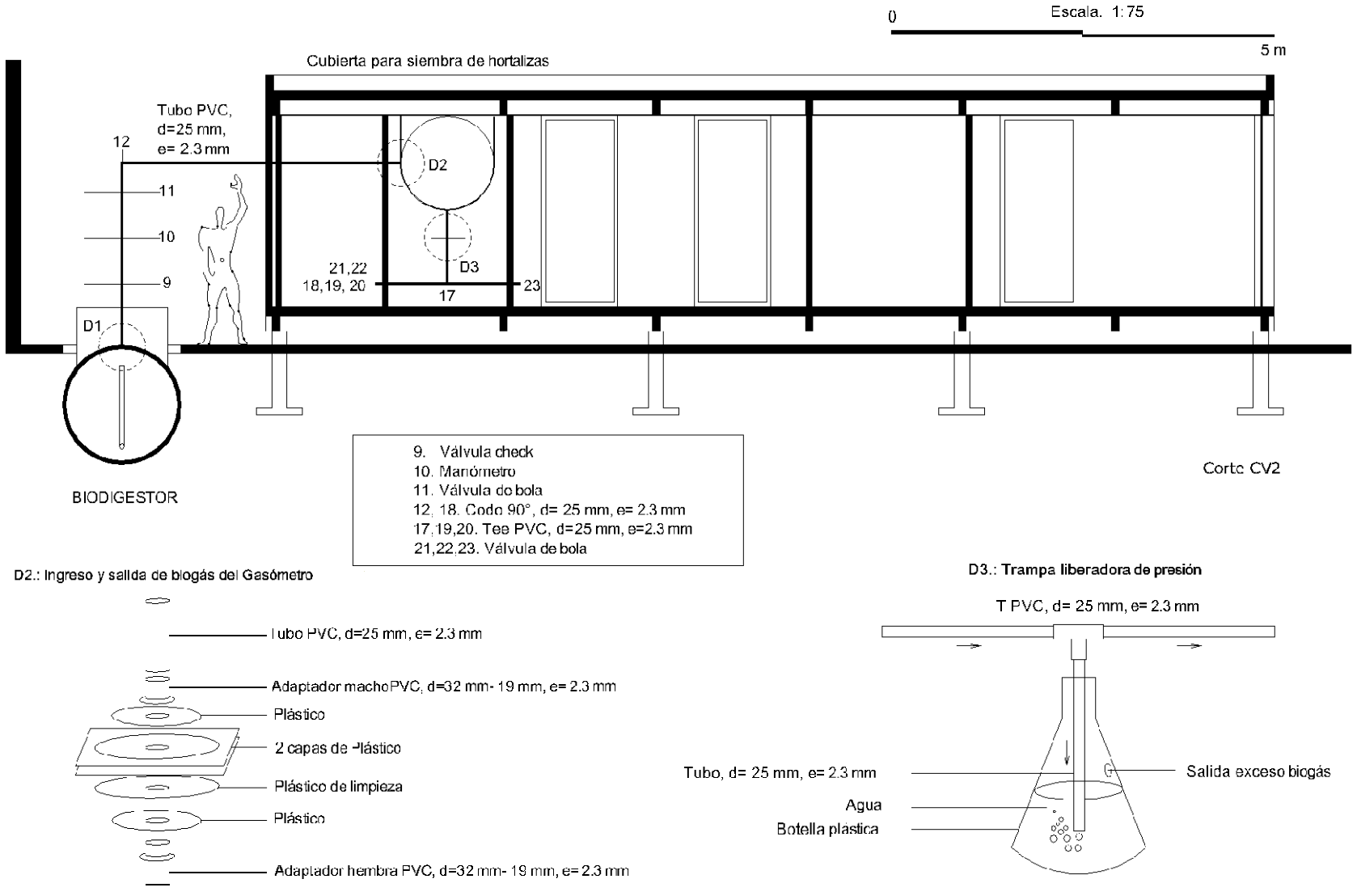
Plano 8. Corte de vivienda CV1



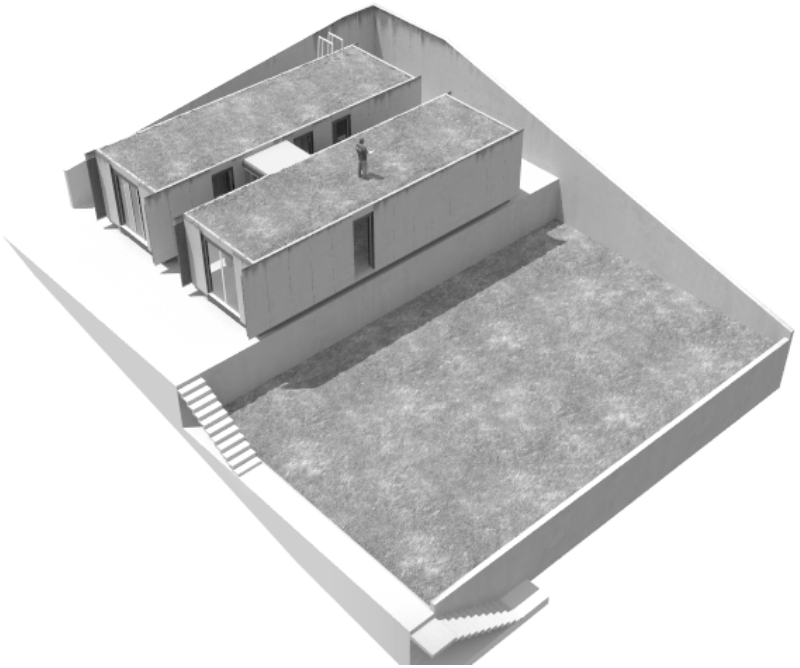
1. Silicona negra
2.Tubo PVC, d=32 mm, e=2.3 mm
3. Unión 32 mm, e=2.3 mm
4. Viruta de hierro (trampa H2S)
5. Tapón, d=32 mm
6. Tee reductora, 32 - 25 mm, e= 2.3 mm
7. Codo 90°, d=25 mm, e= 2.3 mm.
8. Tubo PVC, d=25 mm, e=2.3 mm

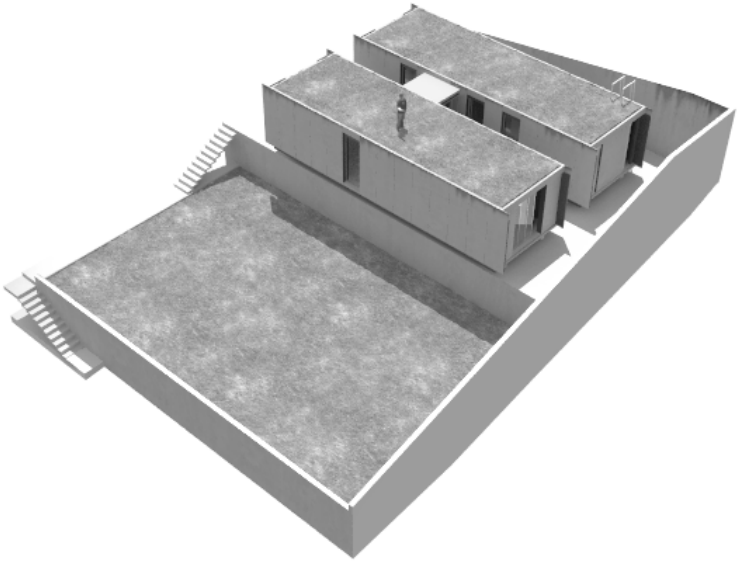
9. Válvula de bola, d= 200 mm.
11, 12. Codo 45°, d=200 mm, e= 12.5 mm.
10,13, 14. Tubo PVC, d=200 mm, e=12,5 mm

Plano 9. Planta de biogás

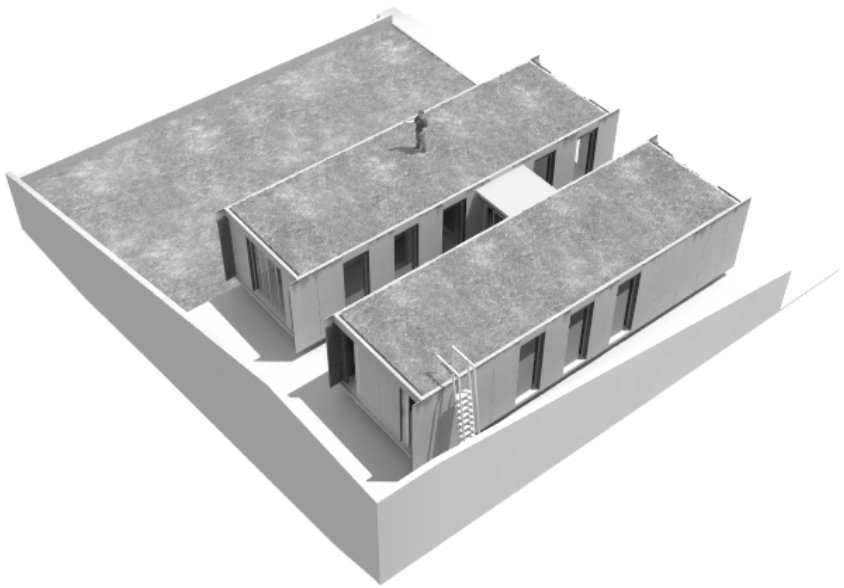


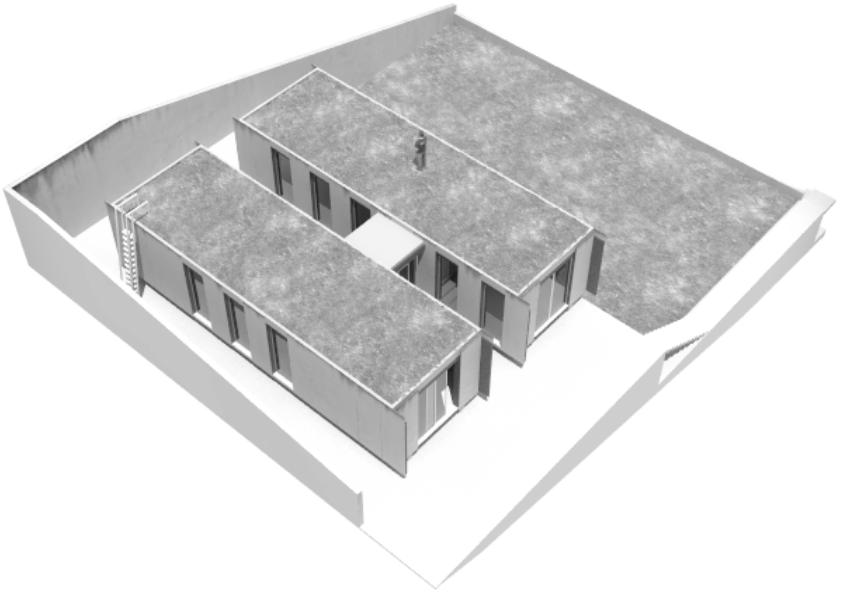
Plano 10. Corte planta de biogás y vivienda



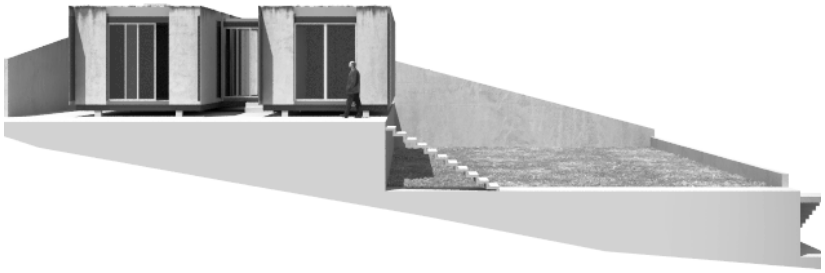


Imágenes del proyecto, 2009.





Imágenes del proyecto, 2009.



Imágenes del proyecto, 2009.

Imágenes del proyecto, 2009.

7. Diseño de planta de biogás para cocinar, y calefón.

De la metodología expuesta en el diseño de la planta de biogás para cocinar, calefón, y motor se resume:

a. Datos necesarios para dimensionar planta de biogás (cocinar, y calefón)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
1	Área del terreno disponible para pastorear (**At**)	hectáreas (ha)	4
		m2	40000
2	Tiempo que se pastorea cada lote (**n**)	días	3
3	Consumo de pastos por animal (300 Kg) (**B**)	Kg/día	36
4	Producción de estiércol por animal (300 Kg) (**D**)	Kg/día	20,4
5	Producción de biogás por animal (300 Kg) (**E**)	m3/animal	0,78
6	Producción de biogás por unidad de masa húmeda (300 Kg) (**F**)	m3/Kg	0,04
7	Consumo de biogás del calefón (10 lt/min) (**J**)	m3/hora	2,6
		m3/minutos	0,043333333
8	Tiempo de uso de calefón (**K**)	minutos (min)	100
9	número de integrantes del hogar (**Np**)	personas (u)	4
10	Precio de cilindro de gas (**Pcg**)	dólares x Cilindro	2,2
11	Tiempo de reposición de pastos (**trp**)	días	36
12	Producción de pastos por año en un terreno (**Cpt**)	Kg/ha	70000
13	Biogás necesario para cocinar (**Vbnc**)	m3	0,3
15	Densidad del estiércol de vacuno (**P**)	Kg/m3	961
16	Poder calorífico 1Kg GLP (**R**)	Mj/Kg	50
17	Poder calorífico 1m3 de metano CH4 (**T**)	Mj/m3	38
18	Poder calorífico 1 cilindro de GLP "15Kg" (**Z**)	Mj	750
19	Tiempo de retención de la biomasa en el biodigestor (**Tr**)	días	30

b. Posible producción de biogás en nuestro terreno

ITEM	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	UNIDAD	RESULTADO
1	Número de parcelas o Lotes (**Np**)	Np= trp/n	lotes	12
2	Área para cada parcela o lote (**Ap**)	Ap=At/Np	hectáreas	0,333333333
			m2	3333,333333
3	Cantidad de pastos disponibles para pastorear cada parcela o lote (**Cpl**)	Cpl=ApxCptx50%	Kg	11666,66667
4	Cantidad de veces que se pastorea cada lote por año (**Pa**)	Pa= 365 días/año / trp	veces/año	10,13888889
5	Cantidad de pastos aprovechados en cada pastoreo de n días (**Cpa**)	Cpa=Cpl/Pa	Kg	1150,684932
6	Cantidad de animales que pueden pastorear en 1 día (**A**)	A= Cpa/B	animales	31,96347032
7	Cantidad de animales que pueden pastorear en n días (**An**)	An= A/n	animales	10,65449011
8	Capacidad de reciclaje de materia orgánica (**C**)	C= AnxD	Kg/día	217,3515982
9	Producción diaria de biogás (**G1**)	G1=AnxE	m3/día	8,310502283
		G2=CxF	m3/día	8,694063927

c. Dimensionamiento de la planta de biogás (cocinar, y calefón)

ITEM	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	UNIDAD	RESULTADO
1	Volumen de biogás necesario (**Vbn**)	Vbn=Vbn1+Vbn2	m3/día	5,533333333
1.1.	Volumen de biogás necesario para cocinar (**Vbn1**)	Vbn1=Vbncxnp	m3/día	1,2
1.2.	Volumen de biogás necesario para calefón (**Vbn2**)	Vbn2=JxK	m3/día	4,333333333
2	Volumen de biogás Real necesario (**Vbr**)	Vbr=(Vbnx10%)+Vbn	m3/día	6,086666667
3	Cantidad de biomasa necesaria por día (**Bn**)	Bn=Vbr/F	Kg/día	152,1666667
			m3/día	0,158342005
4	Volumen del Biodigestor (**VD**)	VD= TS o FDxTr	m3	9,500520291
4.1.	Cantidad de sólidos que ingresan al biodigestor (**TS**)	TS=Bn/P	m3/día	0,158342005
4.2.	Factor de dilución del residuo (**FD**); FD= 1 residuo + 1 agua	FD= 2xBn	Kg	304,3333333
			m3	0,31668401
4.3.	Volumen del Tanque de Almacenamiento (**VG**)	VG= 60%xVbr	m3	3,652

d. Geometría del biodigestor y gasómetro

ITEM	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	LARGO PROPUESTO (m)	DIÁMETRO OBTENIDO (m)
1	Diámetro del biodigestor (Db)	$Db^2=(4 \times VD) / (3,14xL)$	5	1,555800348
2	Diámetro del gasómetro (**Dg**)	$Dg^2=(4 \times VG) / (3,14xL)$	3	1,24528836

8. Diseño de planta de biogás para cocinar.

a. Datos necesarios para dimensionar planta de biogás (cocinar)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
1	Área del terreno disponible para pastorear (**At**)	hectáreas (ha)	4
		m2	40000
2	Tiempo que se pastorea cada lote (**n**)	días	3
3	Consumo de pastos por animal (300 Kg) (**B**)	Kg/día	36
4	Producción de estiércol por animal (300 Kg) (**D**)	Kg/día	20,4
5	Producción de biogás por animal (300 Kg) (**E**)	m3/animal	0,78
6	Producción de biogás por unidad de masa húmeda (300 Kg) (**F**)	m3/Kg	0,04
7	número de integrantes del hogar (**Np**)	personas (u)	4
8	Precio de cilindro de gas (**Pcg**)	dólares x Cilindro	2,2
9	Tiempo de reposición de pastos (**trp**)	días	36
10	Producción de pastos por año en un terreno (**Cpt**)	Kg/ha	70000
11	Biogás necesario para cocinar (**Vbnc**)	m3	0,3
12	Densidad del estiércol de vacuno (**P**)	Kg/m3	961
13	Poder calorífico 1Kg GLP (**R**)	Mj/Kg	50
14	Poder calorífico 1m3 de metano CH4 (**T**)	Mj/m3	38
15	Poder calorífico 1 cilindro de GLP "15Kg" (**Z**)	Mj	750
16	Tiempo de retención de la biomasa en el biodigestor (**Tr**)	días	30

b. Posible producción de biogás en nuestro terreno

ITEM	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	UNIDAD	RESULTADO
1	Número de parcelas o Lotes (**Np**)	Np= trp/n	lotes	12
2	Área para cada parcela o lote (**Ap**)	Ap=At/Np	hectáreas	0,333333333
			m2	3333,333333
3	Cantidad de pastos disponibles para pastorear cada parcela o lote (**Cpl**)	Cpl=ApxCptx50%	Kg	11666,66667
4	Cantidad de veces que se pastorea cada lote por año (**Pa**)	Pa= 365 días/año / trp	veces/año	10,13888889
5	Cantidad de pastos aprovechados en cada pastoreo de n días (**Cpa**)	Cpa=Cpl/Pa	Kg	1150,684932
6	Cantidad de animales que pueden pastorear en 1 día (**A**)	A= Cpa/B	animales	31,96347032
7	Cantidad de animales que pueden pastorear en n días (**An**)	An= A/n	animales	10,65449011
8	Capacidad de reciclaje de materia orgánica (**C**)	C= AnxD	Kg/día	217,3515982
9	Producción diaría de biogás (**G1**)	G1=AnxE	m3/día	8,310502283
		G2=CxF	m3/día	8,694063927

c. Dimensionamiento de la planta de biogás (cocinar)

ITEM	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	UNIDAD	RESULTADO
1	Volumen de biogás necesario (**Vbn**)	Vbn=Vbn1	m3/día	1,2
1.1.	Volumen de biogás necesario para cocinar (**Vbn1**)	Vbn1=Vbncxnp	m3/día	1,2
2	Volumen de biogás Real necesario (**Vbr**)	Vbr=(Vbnx10%)+Vbn	m3/día	1,32
3	Cantidad de biomasa necesaria por día (**Bn**)	Bn=Vbr/F	Kg/día	33
			m3/día	0,03433923
4	Volumen del Biodigestor (**VD**)	VD= TS o FDxTr	m3	2,060353798
4.1.	Cantidad de sólidos que ingresan al biodigestor (**TS**)	TS=Bn/P	m3/día	0,03433923
4.2.	Factor de dilución del residuo (**FD**); FD= 1 residuo + 1 agua	FD= 2xBn	Kg	66
			m3	0,06867846
4.3.	Volumen del Tanque de Almacenamiento (**VG**)	VG= 60%xVbr	m3	0,792

d. Geometría del biodigestor y gasómetro

ITEM	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	LARGO PROPUESTO (m)	DIÁMETRO OBTENIDO (m)
1	Diámetro del biodigestor (**Db**)	$Db^2=(4 \times VD) / (3,14xL)$	3	0,935352789
2	Diámetro del gasómetro (**Dg**)	$Dg^2=(4 \times VG) / (3,14xL)$	1,5	0,820128932

Capitulo 4. Estudio Económico de la planta de Biogás.

En este capítulo se establecerá el precio de la planta de biogás para: (cocinar, calefón, y cogeneración), (cocinar, y calefón), y simplemente cocinar. Se determinara cuanta energía convencional podemos sustituir con este sistema, es decir, cuantos cilindros de gas y cuanta energía eléctrica es remplazada, para con estos datos determinar su viabilidad económica.

9. Análisis Económico de una planta de biogás para cocinar, calefón y motor.

La experiencia en el desarrollo de plantas de biogás arrojan que la mayor parte del gasto en la producción de bioenergía se da en conseguir biomasa, hay que asegurarse en primer lugar de que exista la cantidad adecuada de biomasa para fines energéticos, por esto en este trabajo se empezó seleccionando un terreno para determinar cuántos animales se pueden alimentar, cuánta biomasa podemos conseguir y así concluir cuánto biogás hay disponible, para después compararlo con la cantidad que realmente necesitamos. Es decir nos cercioramos que la biomasa sea lo suficiente para la producción de biogás que satisfagan los requerimientos energéticos de la vivienda, con esto también se asegura que nuestros proveedores de biomasa tengan la cantidad de pastizales para su alimentación durante los 365 días al año y así la producción de estiércol sea constante, de esta manera la materia orgánica para la biodigestión se la obtiene a través de reciclaje y evitamos que tenga un valor en lo que se refiere a producción de material orgánico.

Para nuestro trabajo asumiremos: 9% mantenimiento, 6% Costos Administrativos y 2% Costo de transporte.

"los costos para la biomasa son los más altos y refleja la cantidad muy grande de rechazo cuáles están usados. Los costos de la mano de obra están relativamente bajos porque una planta de biodigestión no es un proceso muy intensivo de trabajo: 45% Costo de Biomasa, 10% Costo de Mano de obra, 9% Mantenimiento 6% Costos Administrativos, 2% Costo de transporte. Estos se pueden resumir en: Construcción e ingeniería 23.4%, Planta y Equipo 29.4%, Maquinaria (motores para cogeneración en este caso) 36.1%, Terrenos y edificios 11.1%."[22].

[22] Fabian Baerlocher. (2004). Análisis de Factibilidad y de Sostenibilidad de una Planta de Biodigestión Anaeróbica en la Región Urabá, Colombia. (En Línea). (Consultado: 1 de Mayo, 2007). Disponible en: http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/59247/---/l=2

9.1. Materiales.

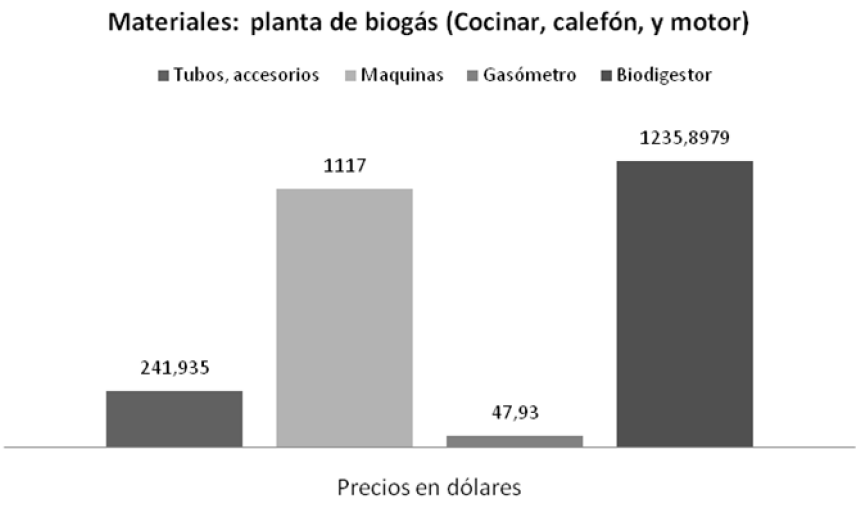
Tabla 20.

ANÁLISIS ECONÓMICO: PLANTA DE BIOGÁS (COCINAR, CALEFÓN, Y MOTOR)					
A. MATERIALES					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
1	Tubo PVC, d=200 mm, e=12,5 mm	m	7	4,04	28,28
2	Válvula de bola, d=200 mm	u	1	65	65
3	Codos 45° PVC, d=200mm, e=12,5 mm	u	2	1,5	3
4	Tubo PVC, d=32 mm, e=2,3 mm	m	0,5	0,41	0,205
5	Unión PVC, d=32mm, e=2,3 mm	u	1	1,32	1,32
6	Tee reductora PVC, 32-25 mm, e=2,3 mm	u	1	2,21	2,21
7	Tapón PVC, d=32mm, e=2,3 mm	u	1	1,37	1,37
8	Codos 90° PVC, d=25mm, e=2,3 mm	u	2	1	2
9	Tubo PVC, d=25 mm, e=2,3 mm	m	10	0,41	4,1
10	Válvula check, d=25 mm	u	1	8	8
11	Manómetro de uso general (0-300 PSI)	u	1	30	30
12	Válvula de bola, d=25 mm	u	4	8	32
13	Tee PVC, 25 mm, e=2,3 mm	u	3	2,21	6,63
14	Pegamento para PVC (pasta POLIMEX 100)	u	1	8,22	8,22
15	Silicona negra	u	7	7	49
16	Adaptador macho PVC, d=32mm, e=19mm	u	1	0,25	0,25
17	Adaptador hembra PVC, d=32mm, e=19mm	u	1	0,25	0,25
18	Botella	u	1	0,1	0,1
COSTO DE TUBOS, ACCESORIOS, Y PEGAMENTOS					**241,935**
19	**Calefón 16 lt/min**	u	1	250	250
20	Kit instalación calefón	u	1	17	17
					267
21	**Motor- generador 6HP**	u	1	850	850
COSTO DE MAQUINAS (calefón + motor)					**1117**
22	**GASÓMETRO:** Plástico de estructura flexible	m2	27	1,5	40,5
23	Elasto-thane 230, sellante de poliuretano (cartucho de 300 ml)	u	1	7,43	7,43
COSTO DEL GASÓMETRO					**47,93**
24	**BIODIGESTOR:** Tablas (2,80x0,20x0,02 m)	u	226	2,75	621,5
25	listones	u	52	1	52
26	Varilla de 8mm	u	4	4	16
27	Clavos 2 1/2 pulgadas	libras	25	1,9	47,5
28	Alambre de amarre	libras	5	1,4	7
29	Malla electrosoldada (6mx2,4m, d=8mm)	u	2,5	45	112,5
30	Tapa de ingreso	u	1	70	70

31	Hormigón 300 Kg. Cm2, piedra 12 mm. (transporte + IVA, GUAPAN)	m3	2,24	90	201,6
32	Replantillo: Hormigón 180 Kg. Cm2, piedra 12 mm. (transporte + IVA, GUAPAN)	m3	0,77	80	61,6
33	Replantillo: Piedra	m3	0,33	3,63	1,1979
34	Ladrillos	u	55	0,2	11
35	Mortero 1:8	m3	0,2	40	8
36	Tapas: Ingreso y salida de biomasa	u	2	10	20
37	SIKA 1, Impermeabilizante	Kg	1	6	6
COSTO DEL BIODIGESTOR					**1235,8979**

RESUMEN	
COSTO DE TUBOS, ACCESORIOS, Y PEGAMENTOS	241,935
COSTO DE MAQUINAS (calefón + motor)	1117
COSTO DEL GASÓMETRO	47,93
COSTO DEL BIODIGESTOR	1235,8979
A. COSTO EN MATERIALES (Planta de biogás: Cocinar, calefón, y motor)	**2642,7629**

Figura 17.



9.2. Mano de obra.

Tabla 21.

B. MANO DE OBRA						
Rubro 1: Excavación						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	45	0,7	15,75	2,5	78,75
				Costo del rubro		**78,75**
Rubro 2: Replantillo						
2.1. Fabricado del concreto (hormigón ciclópeo: 70% hormigón de 180 Kg.cm2 + 30% piedra)						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	0,77	1,87	1,4399	2,5	3,59975
Oficial	1	0,77	1,87	1,4399	3,75	5,399625
2.2. Extendido y apisonado						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	1,1	1,24	1,364	2,5	3,41
Oficial	1	1,1	0,57	0,627	3,75	2,35125
				Costo del rubro		**14,760625**
Rubro 3: Encofrar						
3.1. Marcar y cortar (tablas. 2,80 x0,2 x 0,02 m) (listones: 2,80 x 0,04 x 0,04)						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	448	0,0051	2,2848	2,5	5,712
Oficial	1	448	0,0037	1,6576	3,75	6,216
3.2. Posicionar y ajustar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	448	0,019	8,512	2,5	21,28
Oficial	1	448	0,025	11,2	3,75	42
				Costo del rubro		**75,208**
Rubro 4: Hierros						
4.1. Cortar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	19	0,0048	0,0912	2,5	0,228
Oficial	1	19	0,0067	0,1273	3,75	0,477375
4.2. Doblar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	19	0,0067	0,1273	2,5	0,31825
Oficial	1	19	0,0048	0,0912	3,75	0,342
4.3. Posicionar y ajustar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	19	0,0146	0,2774	2,5	0,6935
Oficial	1	19	0,011	0,209	3,75	0,78375
				Costo del rubro		**2,84288**

Rubro 5: Hormigón para el biodigestor						
5.1. Fabricado del concreto (hormigón 300 Kg.cm2), revolvedora de 1 saco.						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	2,24	1,87	2,0944	2,5	10,472
5.2. Extendido y apisonado						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	2,24	1,24	1,3888	2,5	6,944
Oficial	1	2,24	0,57	1,2768	3,75	4,788
				Costo del rubro		**22,204**
Rubro 6: Tubos y accesorios						
6.1. Colocado: tubo 38-10 mm						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m)	RENDIMIENTO (h/m)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	10	0,0584	0,584	2,5	1,46
6.2. Colocado: codos + válvulas + manómetro + botella						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (u)	RENDIMIENTO (h/u)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	20	0,3872	7,744	2,5	19,36
6.3. Colocado: tee						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (u)	RENDIMIENTO (h/u)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	4	0,608	2,432	2,5	6,08

				Costo del rubro		**26,9**
Rubro 7: Equipos						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Vibrador: 2HP	1			4,6566	2,5	11,6415
Concretera	1			4,9742	2,5	12,4355
				Costo del rubro		**24,077**

RESUMEN:	
1. EXCAVACIÓN	78,75
2. REPLANTILLO	14,760625
3. ENCOFRAR	75,208
4. HIERROS	2,842875
5. HORMIGÓN PARA EL BIODIGESTOR	22,204
6. TUBOS Y ACCESORIOS	26,9
7. EQUIPOS	24,077
8. HERRAMIENTA MENOR	11,033275
B. COSTO EN MANO DE OBRA (Planta de biogás: Cocinar, calefón, y motor)	**255,775775**

Figura 18

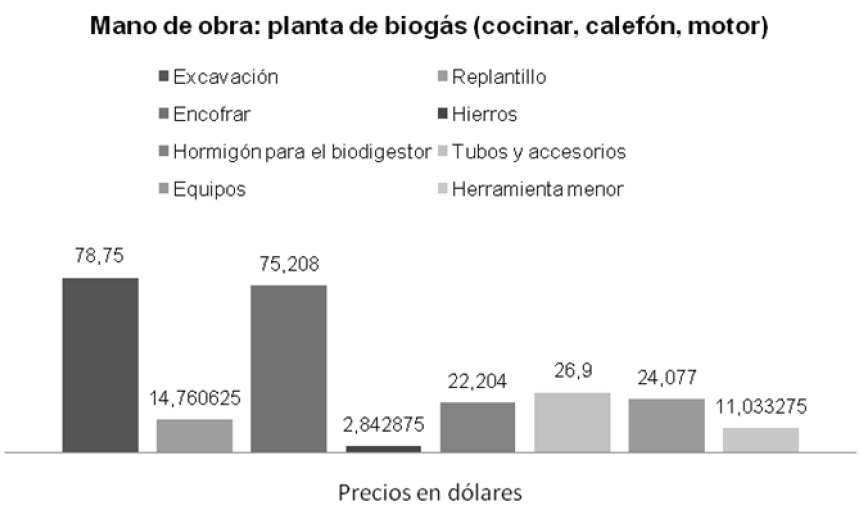
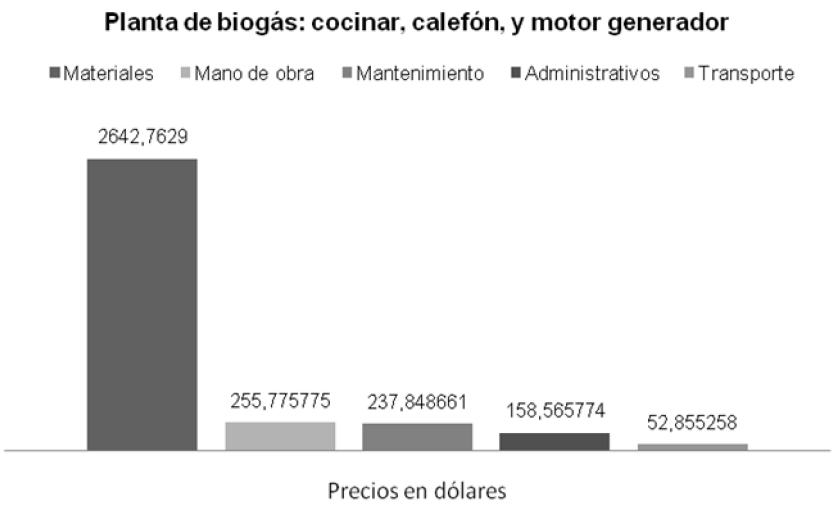


Figura 19



9.3. Precio final.

Tabla 22.

ANÁLISIS ECONÓMICO FINAL	Precios (dólares)
A. COSTO EN MATERIALES	2642,7629
B. COSTO EN MANO DE OBRA	255,775775
B. MANTENIMIENTO (9%)	237,848661
C. ADMINISTRATIVOS (6%)	158,565774
D. TRANSPORTE (2%)	52,855258
PRECIO FINAL: planta de biogás (cocinar, calefón, y motor)	**3347,808368**

9.4. Cantidad de cilindros de GLP (gas licuado) y electricidad que vamos a remplazar.

Tabla 23.

Cantidad de GLP y electricidad que vamos ahorrar				
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**FÓRMULA**	**UNIDAD**	**RESULTADO**
1	Cilindros de GLP que vamos a remplazar (**Cgr**)	Cgr= (WxT) / Z	cilindros/día	0,280355556
			cilindros/año	102,3297778
1.1.	Biogás necesario para cocinar y calefón (**W**)	W= Vbn1+Vbn2	m3/día	5,533333333
2	Ahorro logrado en GLP (**Dag**)	Dag=CgrxPcg	dólares/día	0,616782222
			dólares/año	225,1255111
3	Cantidad de electricidad que vamos a remplazar (**Cer**)	Cer=LxMxO	Kw.h	2,56
4	Ahorro logrado en electricidad (**Cel**)	Cel=CerxPKwh	dólares/día	0,256
			dólares/año	93,44
5	Ahorro total (**At**)	At= Dag + Cel	dólares/año	**318,5655111**

Poder calorífico 1m3 de metano CH4 (T) MJ/m3= *38*

Poder calorífico de GLP (Z) MJ/Kg= *50*

Poder calorífico 1 cilindro de GLP "15Kg" (Z) MJ= *750*

Precio de cilindro de gas (Pcg)= **2,2** dólares

Potencia de lámpara (L)= 32W = 0.032 Kw

Cantidad de lámpara (M)= 16

Tiempo que funcionaran las lámparas (O)= 5 horas

NOTA: *El Precio del kwh de energía eléctrica corresponde al mes de Octubre, 2008. Esta dado en dólares*

Precio del Kwhs (PKwh)= **0,1** dólares

9.5. Tiempo en que recupero mi inversión.

"Para saber en qué tiempo se recupera la inversión es necesario entablar la siguiente relación: t= C/ (Ae). Donde: T = Tiempo de retorno de la inversión (años), C = Costo del sistema (dólares), Ae= Ahorro de energía (dólares por año)"[23].

Tabla 24.

TIEMPO EN QUE RECUPERO MI INVERSIÓN	
NOTA 1: El tiempo de vida de una planta de biogás hecha de hormigón es de 20 a 30 años	
NOTA 2: El tiempo de vida de una planta de biogás hecha de plástico es de 3- 5 años	
DATOS:	
Costo del sistema (C); (dólares)=	3347,808368
Ahorro de energía (Ae); (dólares/años)=	318
Tiempo de vida de nuestra planta de biogás (Vb); (años)=	20
CONCLUSIÓN:	
Tiempo que retorna la inversión (t); (años); (t=C/Ae) =	10,52769927
Ganancia con la planta de biogás (Gpb); (dólares); (Gpb= (Vb-t) x Ae) =	3012,191632
Valores + significan viabilidad	Valores - significan inviabilidad

[23] Asociación Nacional de energía solar, AC. La revista solar No. 57. (En Línea). (Consultado: 20 de Octubre, 2008). Dimensionamiento, selección y beneficios del uso de calentadores solares de agua en el sector doméstico, Trece acciones para la transición energética de México: Una propuesta para el Plan de Gobierno 2006-2012. Disponible en: http://www.anes.org/publicaciones/revista/Solar57.pdf

10. Análisis Económico de una planta de biogás para cocinar y calefón.

10.1. Materiales.

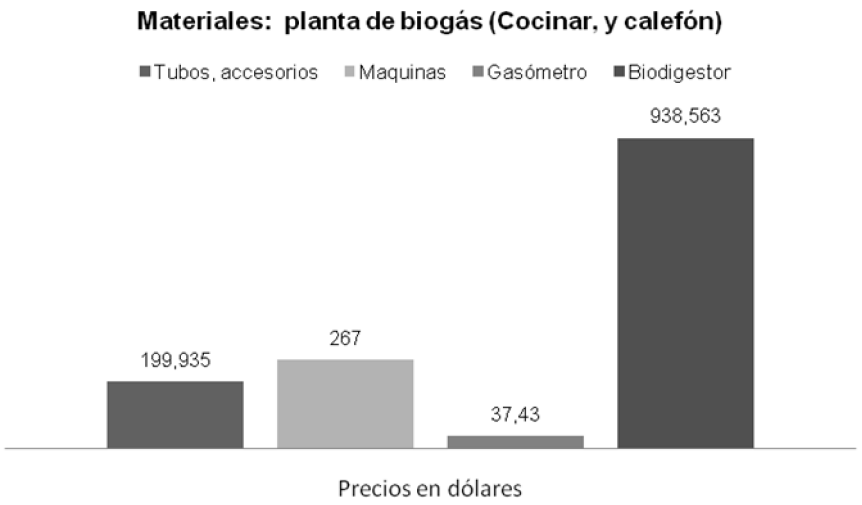
Tabla 25.

ANÁLISIS ECONÓMICO: PLANTA DE BIOGÁS (COCINAR, CALEFÓN)					
A. MATERIALES					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
1	Tubo PVC, d=200 mm, e=12,5 mm	m	7	4,04	28,28
2	Válvula de bola, d=200 mm	u	1	65	65
3	Codos 45° PVC, d=200mm, e=12,5 mm	u	2	1,5	3
4	Tubo PVC, d=32 mm, e=2,3 mm	m	0,5	0,41	0,205
5	Unión PVC, d=32mm, e=2,3 mm	u	1	1,32	1,32
6	Tee reductora PVC, 32-25 mm, e=2,3 mm	u	1	2,21	2,21
7	Tapón PVC, d=32mm, e=2,3 mm	u	1	1,37	1,37
8	Codos 90° PVC, d=25mm, e=2,3 mm	u	2	1	2
9	Tubo PVC, d=25 mm, e=2,3 mm	m	10	0,41	4,1
10	Válvula check, d=25 mm	u	1	8	8
11	Manómetro de uso general (0-300 PSI)	u	1	30	30
12	Válvula de bola, d=25 mm	u	4	8	32
13	Tee PVC, 25 mm, e=2,3 mm	u	3	2,21	6,63
14	Pegamento para PVC (pasta POLIMEX 100)	u	1	8,22	8,22
15	Silicona negra	u	1	7	7
16	Adaptador macho PVC, d=32mm, e=19mm	u	1	0,25	0,25
17	Adaptador hembra PVC, d=32mm, e=19mm	u	1	0,25	0,25
18	Botella	u	1	0,1	0,1
COSTO DE TUBOS, ACCESORIOS, Y PEGAMENTOS					**199,935**
19	**Calefón 16 lt/min**	u	1	250	250
20	Kit instalación calefón	u	1	17	17
					267
COSTO DE MAQUINAS (calefón + motor)					**267**
21	**GASÓMETRO:** Plástico de estructura flexible	m2	20	1,5	30
22	Elasto-thane 230, sellante de poliuretano (cartucho de 300 ml)	u	1	7,43	7,43
COSTO DEL GASÓMETRO					**37,43**
23	**BIODIGESTOR:** Tablas (2,80x0,20x0,02 m)	u	176	2,75	484
24	listones	u	40	1	40
25	Varilla de 8mm	u	3	4	12
26	Clavos 2 1/2 pulgadas	libras	19	1,9	36,1
27	Alambre de amarre	libras	4	1,4	5,6

28	Malla electrosoldada (6mx2,4m, d=8mm)	u	1,5	45	67,5
29	Tapa de ingreso	u	1	70	70
30	Hormigón 300 Kg. Cm2, piedra 12 mm. (transporte + Iva, GUAPAN)	m3	1,8	90	162
31	Replantillo: Hormigón 180 Kg. Cm2, piedra 12 mm. (transporte + Iva, GUAPAN)	m3	0,2	80	16
32	Replantillo: Piedra	m3	0,1	3,63	0,363
33	Ladrillos	u	55	0,2	11
34	Mortero 1:8	m3	0,2	40	8
35	Tapas: Ingreso y salida de biomasa	u	2	10	20
36	SIKA 1, Impermeabilizante	Kg	1	6	6
COSTO DEL BIODIGESTOR					**938,563**

COSTO DE TUBOS, ACCESORIOS, Y PEGAMENTOS	199,935
COSTO DE MAQUINAS (calefón + motor)	267
COSTO DEL GASOMETRO	37,43
COSTO DEL BIODIGESTOR	938,563
A. COSTO EN MATERIALES (Planta de biogás: Cocinar, y calefón)	**1442,928**

Figura 20



10.2. Mano de Obra.

Tabla 26.

B. MANO DE OBRA						
Rubro 1: Excavación						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	35	0,7	12,25	2,5	61,25
				Costo del rubro		**61,25**
Rubro 2: Replantillo						
2.1. Fabricado del concreto (hormigón ciclópeo: 70% hormigón de 180 Kg.cm2 + 30% piedra)						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	0,45	1,87	0,8415	2,5	2,10375
Oficial	1	0,45	1,87	0,8415	3,75	3,155625
2.2. Extendido y apisonado						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	0,9	1,24	1,116	2,5	2,79
Oficial	1	0,9	0,57	0,513	3,75	1,92375
				Costo del rubro		**9,973125**
Rubro 3: Encofrar						
3.1. Marcar y cortar (tablas. 2,80 x0,2 x 0,02 m) (listones: 2,80 x 0,04 x 0,04)						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	348	0,0051	1,7748	2,5	4,437
Oficial	1	348	0,0037	1,2876	3,75	4,8285
3.2. Posicionar y ajustar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	348	0,019	6,612	2,5	16,53
Oficial	1	348	0,025	8,7	3,75	32,625
				Costo del rubro		**58,4205**
Rubro 4: Hierros						
4.1. Cortar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	15	0,0048	0,072	2,5	0,18
Oficial	1	15	0,0067	0,1005	3,75	0,376875
4.2. Doblar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	15	0,0067	0,1005	2,5	0,25125
Oficial	1	15	0,0048	0,072	3,75	0,27
4.3. Posicionar y ajustar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)

Ayudante	1	15	0,0146	0,219	2,5	0,5475
Oficial	1	15	0,011	0,165	3,75	0,61875
				Costo del rubro		**2,244375**
Rubro 5: Hormigón para el biodigestor						
5.1. Fabricado del concreto (hormigón 300 Kg.cm2), revolvedora de 1 saco.						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	1,74	1,87	1,6269	2,5	8,1345
5.2. Extendido y apisonado						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	1,74	1,24	1,0788	2,5	5,394
Oficial	1	1,74	0,57	0,9918	3,75	3,71925
				Costo del rubro		**17,24775**
Rubro 6: Tubos y accesorios						
6.1. Colocado: tubo 38-10 mm						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m)	RENDIMIENTO (h/m)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	10	0,0584	0,584	2,5	1,46
6.2. Colocado: codos + válvulas + manómetro + botella						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (u)	RENDIMIENTO (h/u)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	20	0,3872	7,744	2,5	19,36
6.3. Colocado: tee						

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (u)	RENDIMIENTO (h/u)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	4	0,608	2,432	2,5	6,08
				Costo del rubro		**26,9**
Rubro 7: Equipos						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Vibrador: 2HP	1			3,6996	2,5	9,249
Concretera	1			3,3099	2,5	8,27475
				Costo del rubro		**17,52375**

RESUMEN:	
1. EXCAVACIÓN	61,25
2. REPLANTILLO	9,973125
3. ENCOFRAR	58,4205
4. HIERROS	2,244375
5. HORMIGÓN PARA EL BIODIGESTOR	17,24775
6. TUBOS Y ACCESORIOS	26,9
7. EQUIPOS	17,52375
8. HERRAMIENTA MENOR	8,8017875
B. COSTO EN MANO DE OBRA (Planta de biogás: Cocinar, y calefón)	**202,3612875**

Figura 21.

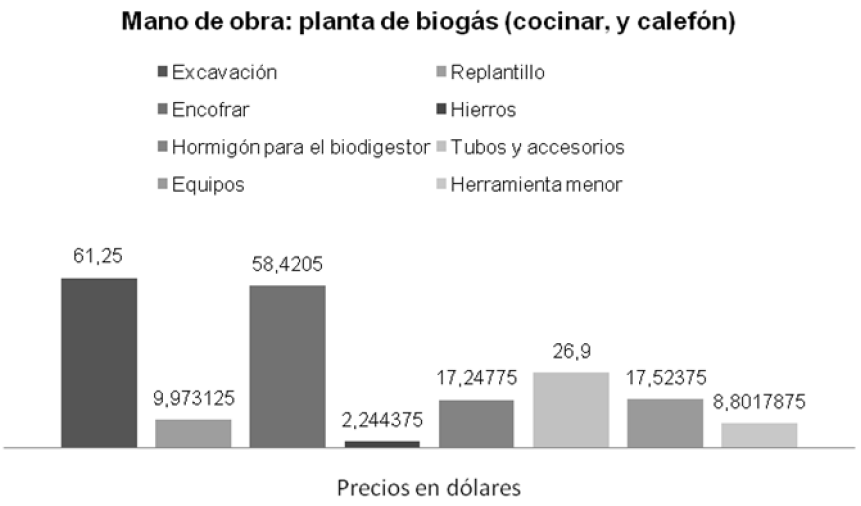
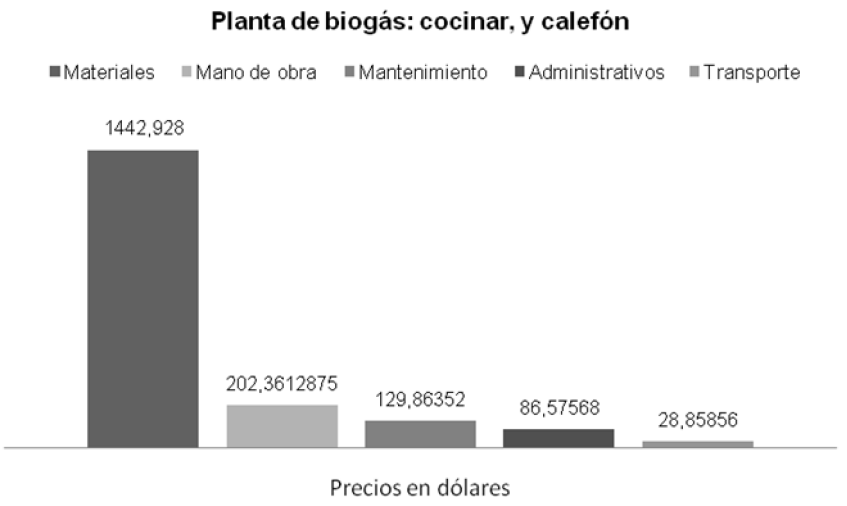


Figura 22.



10.3. Precio Final.

Tabla 27.

ANÁLISIS ECONÓMICO FINAL	Precios (dólares)
A. COSTO EN MATERIALES	1442,928
B. COSTO EN MANO DE OBRA	202,3612875
B. MANTENIMIENTO (9%)	129,86352
C. ADMINISTRATIVOS (6%)	86,57568
D. TRANSPORTE (2%)	28,85856
PRECIO FINAL: planta de biogás (cocinar, y calefón)	**1890,587048**

10.4. Cantidad de cilindros de GLP (gas licuado) que vamos a remplazar.

Tabla 28.

Cantidad de GLP ahorrado				
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**FÓRMULA**	**UNIDAD**	**RESULTADO**
1	Cilindros de GLP que vamos a remplazar (**Cgr**)	Cgr= (WxT) / Z	cilindros/día	0,280355556
			cilindros/año	102,3297778
1.1.	Biogás necesario para cocinar y calefón (**W**)	W= Vbn1+Vbn2	m3/día	5,533333333
2	Ahorro logrado en GLP (**Dag**)	Dag=CgrxPcg	dólares/día	0,616782222
			dólares/año	225,1255111
3	Ahorro total (At)	At= Dag	dólares/año	**225,1255111**

Poder calorífico 1m3 de metano CH4 (T) MJ/m3= *38*

Poder calorífico de GLP (Z) MJ/Kg= *50*

Poder calorífico 1 cilindro de GLP "15Kg" (Z) MJ= *750*

Precio de cilindro de gas (Pcg)= **2,2** dólares

10.5. Tiempo en que recupero mi inversión.

Tabla 29.

TIEMPO EN QUE RECUPERO MI INVERSIÓN	
NOTA 1: El tiempo de vida de una planta de biogás hecha de hormigón es de 20 a 30 años	
NOTA 2: El tiempo de vida de una planta de biogás hecha de plástico es de 3- 5 años	
DATOS:	
Costo del sistema (C); (dólares)=	1890,587048
Ahorro de energía (Ae); (dólares/años)=	225
Tiempo de vida de nuestra planta de biogás (Vb); (años)=	20
CONCLUSIÓN:	
Tiempo que retorna la inversión (t); (años); (t=C/Ae) =	8,4026091
Ganancia con la planta de biogás (Gpb); (dólares); (Gpb= (Vb-t) x Ae) =	2609,412953
Valores + significan viabilidad	Valores - significan inviabilidad

11. Análisis Económico de una planta de biogás para cocinar.

11.1. Materiales.

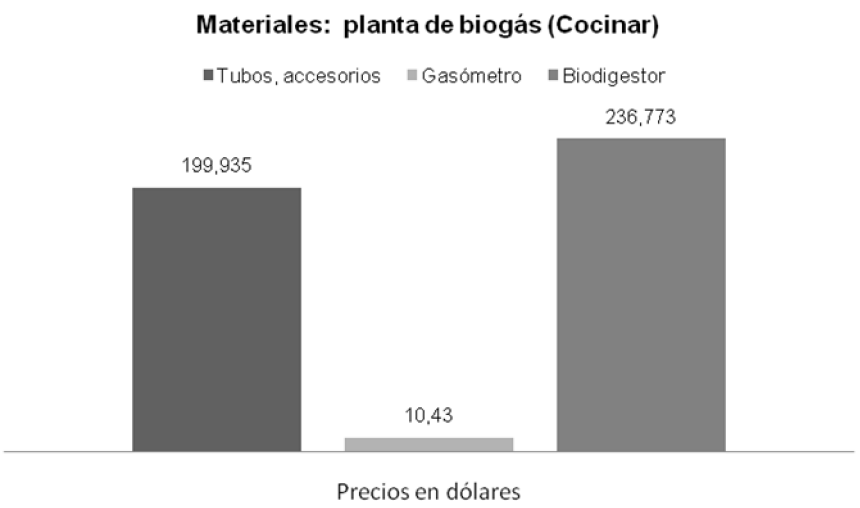
Tabla 30

ANÁLISIS ECONÓMICO: PLANTA DE BIOGÁS (COCINAR)					
A. MATERIALES					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
1	Tubo PVC, d=200 mm, e=12,5 mm	m	7	4,04	28,28
2	Válvula de bola, d=200 mm	u	1	65	65
3	Codos 45° PVC, d=200mm, e=12,5 mm	u	2	1,5	3
4	Tubo PVC, d=32 mm, e=2,3 mm	m	0,5	0,41	0,205
5	Unión PVC, d=32mm, e=2,3 mm	u	1	1,32	1,32
6	Tee reductora PVC, 32-25 mm, e=2,3 mm	u	1	2,21	2,21
7	Tapón PVC, d=32mm, e=2,3 mm	u	1	1,37	1,37
8	Codos 90° PVC, d=25mm, e=2,3 mm	u	2	1	2
9	Tubo PVC, d=25 mm, e=2,3 mm	m	10	0,41	4,1
10	Válvula check, d=25 mm	u	1	8	8
11	Manómetro de uso general (0-300 PSI)	u	1	30	30
12	Válvula de bola, d=25 mm	u	4	8	32
13	Tee PVC, 25 mm, e=2,3 mm	u	3	2,21	6,63
14	Pegamento para PVC (pasta POLIMEX 100)	u	1	8,22	8,22
15	Silicona negra	u	1	7	7
16	Adaptador macho PVC, d=32mm, e=19mm	u	1	0,25	0,25
17	Adaptador hembra PVC, d=32mm, e=19mm	u	1	0,25	0,25
18	Botella	u	1	0,1	0,1
COSTO DE TUBOS, ACCESORIOS, Y PEGAMENTOS					**199,935**
19	**GASÓMETRO:** Plástico de estructura flexible	m2	2	1,5	3
20	Elasto-thane 230, sellante de poliuretano (cartucho de 300 ml)	u	1	7,43	7,43
COSTO DEL GASÓMETRO					**10,43**
21	**BIODIGESTOR:** Tablas (2,80x0,20x0,02 m)	u	12	2,75	33
22	listones	u	9	1	9
23	Varilla de 8mm	u	1	4	4
24	Clavos 2 1/2 pulgadas	libras	5	1,9	9,5
25	Alambre de amarre	libras	1	1,4	1,4
26	Malla electrosoldada (6mx2,4m, d=8mm)	u	0,5	45	22,5
27	Tapa de ingreso	u	1	70	70

28	Hormigón 300 Kg. Cm2, piedra 12 mm. (transporte + Iva, GUAPAN)	m3	0,5	90	45
29	Replantillo: Hormigón 180 Kg. Cm2, piedra 12 mm. (transporte + Iva, GUAPAN)	m3	0,1	80	8
30	Replantillo: Piedra	m3	0,1	3,63	0,363
31	Ladrillos	u	0,05	0,2	0,01
32	Mortero 1:8	m3	0,2	40	8
33	Tapas: Ingreso y salida de biomasa	u	2	10	20
34	SIKA 1, Impermeabilizante	Kg	1	6	6
COSTO DEL BIODIGESTOR					**236,773**

RESUMEN	
COSTO DE TUBOS, ACCESORIOS, Y PEGAMENTOS	199,935
COSTO DEL GASÓMETRO	10,43
COSTO DEL BIODIGESTOR	236,773
A. COSTO EN MATERIALES (Planta de biogás: Cocinar)	**447,138**

Figura 23



11.2. Mano de Obra.

Tabla 31.

B. MANO DE OBRA						
Rubro 1: Excavación						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	7,5	0,7	2,625	2,5	13,125
				Costo del rubro		**13,125**
Rubro 2: Replantillo						
2.1. Fabricado del concreto (hormigón ciclópeo: 70% hormigón de 180 Kg.cm2 + 30% piedra)						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	0,15	1,87	0,2805	2,5	0,70125
Oficial	1	0,15	1,87	0,2805	3,75	1,051875
2.2. Extendido y apisonado						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	0,3	1,24	0,372	2,5	0,93
Oficial	1	0,3	0,57	0,171	3,75	0,64125
				Costo del rubro		**3,324375**
Rubro 3: Encofrar						
3.1. Marcar y cortar (tablas. 2,80 x0,2 x 0,02 m) (listones: 2,80 x 0,04 x 0,04)						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJ	SALARIO HORA	PRECIO FINAL
Ayudante	1	76	0,0051	0,3876	2,5	0,969
Oficial	1	76	0,0037	0,2812	3,75	1,0545
3.2. Posicionar y ajustar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	76	0,019	1,444	2,5	3,61
Oficial	1	76	0,025	1,9	3,75	7,125
				Costo del rubro		**12,7585**
Rubro 4: Hierros						
4.1. Cortar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	4	0,0048	0,0192	2,5	0,048
Oficial	1	4	0,0067	0,0268	3,75	0,1005
4.2. Doblar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	4	0,0067	0,0268	2,5	0,067
Oficial	1	4	0,0048	0,0192	3,75	0,072
4.3. Posicionar y ajustar						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (Kg)	RENDIMIENTO (h/kg)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	4	0,0146	0,0584	2,5	0,146
Oficial	1	4	0,011	0,044	3,75	0,165

				Costo del rubro		**0,5985**
Rubro 5: Hormigón para el biodigestor						
5.1. Fabricado del concreto (hormigón 300 Kg.cm2), revolvedora de 1 saco.						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	0,5	1,87	0,4675	2,5	2,3375
5.2. Extendido y apisonado						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO (h/m3)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	2	0,5	1,24	0,31	2,5	1,55
Oficial	1	0,5	0,57	0,285	3,75	1,06875
				Costo del rubro		**4,95625**
Rubro 6: Tubos y accesorios						
6.1. Colocado: tubo 38-10 mm						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m)	RENDIMIENTO (h/m)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	10	0,0584	0,584	2,5	1,46
6.2. Colocado: codos + válvulas + manómetro + botella						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (u)	RENDIMIENTO (h/u)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	17	0,3872	6,5824	2,5	16,456
6.3. Colocado: tee						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (u)	RENDIMIENTO (h/u)	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Ayudante	1	2	0,608	1,216	2,5	3,04
				Costo del rubro		**20,956**
Rubro 7: Equipos						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (u)	CANTIDAD (m3)	RENDIMIENTO	HORAS DE TRABAJO (h)	SALARIO HORA (dólares)	PRECIO FINAL (dólares)
Vibrador: 2HP	1			1,138	2,5	2,845
Concretera	1			1,0285	2,5	2,57125
				Costo del rubro		**5,41625**

RESUMEN:	
1. EXCAVACIÓN	13,125
2. REPLANTILLO	3,324375
3. ENCOFRAR	12,7585
4. HIERROS	0,5985
5. HORMIGÓN PARA EL BIODIGESTOR	4,95625
6. TUBOS Y ACCESORIOS	20,956
7. EQUIPOS	5,41625
8. HERRAMIENTA MENOR	2,78593125
B. COSTO EN MANO DE OBRA (Planta de biogás: Cocinar)	**63,92080625**

Figura 24.

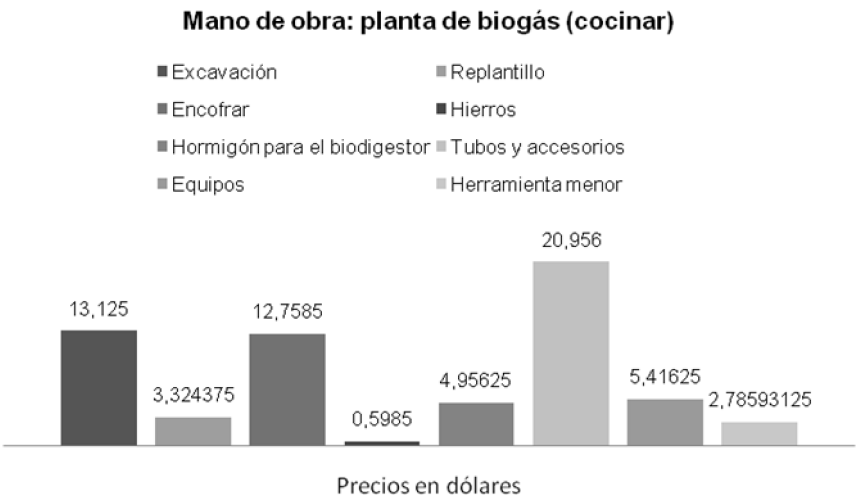
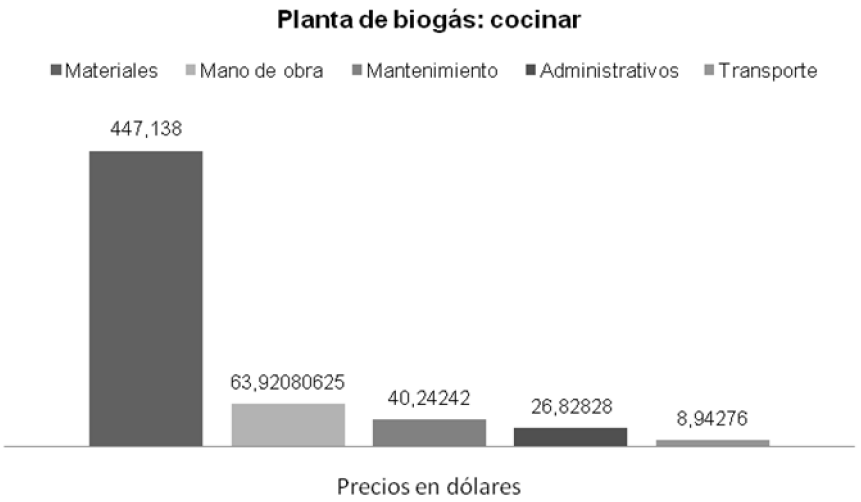


Figura 25.



11.3. Precio Final.

Tabla 32.

ANÁLISIS ECONÓMICO FINAL	Precios (dólares)
A. COSTO EN MATERIALES	447,138
B. COSTO EN MANO DE OBRA	63,92080625
B. MANTENIMIENTO (9%)	40,24242
C. ADMINISTRATIVOS (6%)	26,82828
D. TRANSPORTE (2%)	8,94276
PRECIO FINAL: planta de biogás (cocinar)	**587,0722663**

11.4. Cantidad de cilindros de GLP (gas licuado) que vamos a remplazar.

Tabla 33.

Cantidad de GLP ahorrado				
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**FÓRMULA**	**UNIDAD**	**RESULTADO**
1	Cilindros de GLP que vamos a remplazar (**Cgr**)	Cgr= (WxT) / Z	cilindros/día	0,0608
			cilindros/año	22,192
1.1.	Biogás necesario para cocinar (**W**)	W= Vbn1	m3/día	1,2
2	Ahorro logrado en GLP (**Dag**)	Dag=CgrxPcg	dólares/día	0,13376
			dólares/año	48,8224
3	Ahorro total (**At**)	At=Dag	dólares/año	**48,8224**

Poder calorífico 1m3 de metano CH4 (T) MJ/m3= *38*

Poder calorífico de GLP (Z) MJ/Kg= *50*

Poder calorífico 1 cilindro de GLP "15Kg" (Z) MJ= *750*

Precio de cilindro de gas (Pcg)= **2,2** dólares

11.5. Tiempo en que recupero mi inversión.

Tabla 34.

TIEMPO EN QUE RECUPERO MI INVERSIÓN	
NOTA 1: El tiempo de vida de una planta de biogás hecha de hormigón es de 20 a 30 años	
NOTA 2: El tiempo de vida de una planta de biogás hecha de plástico es de 3- 5 años	
DATOS:	
Costo del sistema (C); (dólares)=	587,0722663
Ahorro de energía (Ae); (dólares/años)=	49
Tiempo de vida de nuestra planta de biogás (Vb); (años)=	20
CONCLUSIÓN:	
Tiempo que retorna la inversión (t); (años); (t=C/Ae) =	11,98106666
Ganancia con la planta de biogás (Gpb); (dólares); (Gpb= (Vb-t) x Ae) =	392,9277338
Valores + significan viabilidad	Valores - significan inviabilidad

Capitulo 5.

12. Conclusiones.

a) El uso de energías alternativas conlleva usar sistemas de instalaciones especiales, las que requieren espacios y condiciones de desarrollo apropiados, la arquitectura se sirve de sistemas de provisión de energía y puede integrar plantas de producción como es el caso de la tecnología biogás. Las plantas de biogás sirven de punto de partida para planes de ordenamiento territorial o urbano, y para el desarrollo de la llamada arquitectura ecológica.

b) En el sector rural, con esta tecnología se empieza a obtener independencia a los combustibles fósiles. Es justificable promoverla porque contribuiríamos en reciclar el material orgánico generado por los animales (estiércol) y transformarlo en energía que ayuda a accionar nuestros artefactos, también disminuiríamos la contaminación por Metano a la atmósfera.

c) El desarrollo de la tecnología biogás se ajusta a la realidad de nuestro país, provincia y ciudad por la actividad agrícola desarrollada. La implementación de biodigestores en la vivienda rural es viable y real por la disponibilidad de territorio para la crianza de ganado vacuno y la existencia del mismo, esto significa que existe la fuente para la obtención de biomasa y biogás, el usar estiércol de ganado vacuno a demás de ser una solución energética es una solución medioambiental. En Ecuador el mayor uso del suelo en el campo agrícola son los pastos cultivables y naturales que corresponden a 3´623,893 hectáreas (30.62%) y 1¨373,04 hectáreas (11.60%) respectivamente; en Loja existen 137,745 hectáreas para pastos cultivados y 302, 430 hectáreas para pastos naturales. En nuestro país y provincia, la mayor cantidad de animales en sector agropecuario son el ganado vacuno seguido del porcino, existen 4´727,104 cabezas de ganado vacuno, y 1´323,08 de ganado porcino; mientras que en la provincia la cantidad de ganado vacuno alcanza las 352,833 cabezas y 128,802 cabezas de ganado porcino.

d) El estiércol de ganado vacuno, es fácil de tratar, y es más estable en generación de biogás debido a que su dieta es en su mayoría es a base de pastos. En nuestro caso los desperdicios de cocina y huertos son más productivos si son usados directamente como abono, lombricultura o ser tratados en compostadoras. El problema radica en que estos desechos no se pueden obtener diariamente en la cantidad suficiente, necesitaríamos 179 Kg/día de desechos de huerto y 93 Kg/día de desechos de cocina, la mayoría de hortalizas son cosechadas aproximadamente cada dos meses, lo que significa que la biomasa que resultaría del reciclaje de estos estarían a disposición en ese tiempo, y nuestro biodigestor es de carga continua, necesita ser cargado diariamente.

e) El lugar donde se emplazo el proyecto tiene un área tiene un área de 4 ha, tiene la capacidad de albergar 11 cabezas de ganado de carne de 300 Kg aproximadamente, produciendo 224.4 kg/día de biomasa (estiércol) y 9 m3/día de biogás/día. Nosotros requerimos 195.8 Kg/día de estiércol, 7.5 m3/día de biogás , lo cual nos permite generar electricidad por 5 horas para accionar 16 lámparas de bajo consumo, generar el gas suficiente para utilizar un calefón de 10 litros/minuto (brindar agua caliente a 2 duchas y un lavadero por 1 hora con 48 minutos) y cocinar a 4 personas.

f) El biodigestor planteado es de pequeña capacidad, que puede ser integrada sin problemas a la vivienda rural, la capacidad de nuestro biodigestor es de 11.70 m3 y está diseñado para ser cargado diariamente (Flujo pistón) de bajo caudal, de geometría horizontal para contener la materia orgánica durante 30 días y lograr temperaturas mesofílicas. La cantidad de biomasa que entra es proporcional a la cantidad de efluente líquido que sale. La planta de biogás tratara 195.8 kg de estiércol por día y producirá 195.8 kg/día de efluente liquido (biol).

g) La implementación de plantas de biogás en la vivienda rural de Loja para cocinar, accionar calefón y cogeneración (Producción de electricidad) es viable económicamente. El sistema costaría 3347,8 dólares, se ahorraría 318 dólares/año en gas y electricidad, se recupera la inversión en 11 años, y se ganara 3012 dólares, durante 20 años de durabilidad del sistema.

h) La implementación de plantas de biogás en la vivienda rural de Loja para cocinar, accionar calefón es viable económicamente. El sistema costaría 1890 dólares, se ahorraría 225 dólares/año en gas, se recupera la inversión en 8,4 años, y se ganara 2609 dólares, durante 20 años de durabilidad del sistema.

i) La implementación de plantas de biogás en la vivienda rural de Loja para cocinar es viable económicamente. El sistema costaría 587 dólares, se ahorraría 49 dólares/año en gas, se recupera la inversión en 12 años, y se ganara 393 dólares, durante 20 años de durabilidad del sistema.

j) El factor económico, entendido como el costo final de la planta de biogás no es determinante para el desarrollo de la tecnología. Una de las recomendaciones de los que han estudiado el tema es que debe existir intervención estatal ya sea a través de créditos o subsidios. Hay que recordar que accionar cocinas o calefones, o encender nuestros artefactos eléctricos no fuera posible sin intervención estatal. El determinante para desarrollo de la tecnología es la disponibilidad de biomasa, conocimiento del proceso y tecnologías para aprovechar la biomasa y obtener biogás.

13. Recomendaciones.

a) Antes de iniciar un proyecto para generar biogás se requiere saber la cantidad de biomasa que se puede reciclar, y la cantidad de energía que vamos a utilizar para establecer si conviene realizar el proyecto.

b) Se recomienda como fuente proveedora de biomasa al ganado vacuno, es fácil de tratar, y es más estable en generación de biogás debido a que su dieta es en su mayoría a base de pastos.

c) La mejor manera de pastoreo del ganado vacuno es la parcelación o lotización, porque permite regeneración de pastos, manteniéndose constante la fuente de alimentación durante el año, y facilita la recolección del estiércol.

d) Para diseñar el proceso del sistema energético biogás se recomienda tener en cuenta la seguridad, mantenimiento y desarrollo del proceso en condiciones apropiadas.

e) Para vivienda rural, el biodigestor de carga continua es apropiado, debido a que la actividad de carga de biomasa y descarga del efluente se vuelve faena cotidiana para los habitantes del hogar.

f) Para asegurar durabilidad del biodigestor se puede usar hormigón, esto permite un mayor control del proceso y mientras más durable es nuestra planta, la vialidad es más potencial.

g) Para conducción del biogás las tuberías de PVC son de utilidad, debido a que el biogás está compuesto de ácido sulfhídrico que es corrosivo para las tuberías de metal, motores, y partes del calefón.

h) Se recomienda limpiar al biogás del ácido sulfhídrico y vapor de agua, para ello se puede emplear trampas sencillas que consiste en introducir virutas de hierro en un tubo.

i) Es importante que el biodigestor este cerca a la cocina y cuarto de maquinas (Donde se quemara el biogás para producir energía térmica, calorífica y eléctrica) para no tener pedidas de energía.

14. Bibliografía.

[1] BASTIDAS F, BUSTAMANTE H, MORALES A, PALACIOS M, ROSERO J. (2000).Evaluación de los Impactos ambientales, económicos y sociales de la implementación de las medidas de mitigación al cambio climático en el sector Energético.

[2] COMUNICACIÓN NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2001). Cambio Climático. (En Línea). (Consultado: 4 de Agosto 2008). Disponible en:
http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc1s.pdf

Historia del Biogás (En Línea). (Consultado el 13 de Noviembre de 2007) Disponible en:
http://www.c-tec.com.ar/modules.php?name=News&file=article&sid=29

Biomasa (En línea). (Consultado: 11 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa

Biomasa (En línea). (Consultado: 16 de Noviembre de 2007). Disponible en: http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa

VILLEGAS A. PEDRO J. Desarrollo y perspectivas de la tecnología del biogás en los países Subdesarrollados (En línea). (Consultado: 15 de Enero, 2008). Disponible en:
http://www.bibliociencias.cu/gsdl/collect/revistas/index/assoc/hash015e/28374f2b.dir/doc.pdf

COMANDO SULUDA A. tesis: Optimización de compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobia- aerobia. p 46-49. Madrid-España 2006. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de ordenamiento de territorialidad, urbanismo y medio ambiente

FERNÁNDEZ J. Energía de la Biomasa (En línea). (Consultado: 10 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno_BIOMASA.pdf

HILBERT JORGE A. Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. Castelar. Manual para la producción de Biogás, (En Línea). Consultado 26 de Noviembre, 2007). Disponible en:
http://www.ercyl.com/pdf/doc_cogeneracion/manual_de_biogas.pdf

GUEVARA VERA ANTONIO. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. (En línea). (Consultado: 13 de febrero, 2009). Disponible en: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf

ROMAY A. Proyecto de Cogeneración y Mecanismo de desarrollo limpio (En línea). (Consultado: 2 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://www.iccmex.org.mx/correos/2007/julio/Proyecto%20Cogeneracion%20JUMEX.pdf

DUQUE CARLOS. (Enero 2007). Manual técnico para la construcción y Operación de biodigestores (En Línea). (Consultado 1 de Mayo de 2008). Disponible en:
http://www.procanor.com/Manuales%20PDF/manual_biodigestor.pdf

"Livestock Waste Facilities Handbook," MidWest Plan Service, 2nd edition, MWPS-18 (Fundación para la Investigación de Purdue, West Lafayette, Indiana 47907).(En Línea).(Consultado: 20 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://www.purdue.edu/envirosoft/manure/spanish/src/species2.htm

GROPPELI E, Programa de tecnología socialmente apropiada (TSA), Fundación PROTEGER y grupo de energía no convencional FIQ-UNL. El Camino de la Biodigestión Año 1, N°1, Marzo 2005. (En Línea). (Consultado: 22 de Agosto, 2008). Disponible en:
http://www.proteger.org.ar/tecnologia.

CARRILLO LEONOR. (2003). Microbiología Agrícola. (En Línea). (Consultado: 21 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf

[16] Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). (2006). Manual de Manejo para engorde de ganado Bovino. (En línea). (Consultado: 20 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://www.cetabol.cotasnet.com.bo/es/noveda/manu.pdf

[17] VINASCO JUAN PABLO. Tecnología del biogás. (En Línea). (Consultado el 21 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

[18] ROMULO RUÍZ S. (2006). Producción de biogás empleando biomasa Agropecuaria. (En Línea). (Consultado el: 20 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://www.sendas.org.ec/docs/utilizacion_del_biogas.pdf

[19] [23] SANTIAGO J. SÁNCHEZ MIÑO. (2003). Energías Renovables, Conceptos y Aplicaciones. (En Línea). (Consultado el: 4 de Noviembre, 2008). Disponible en:
http://www.uni-oldenburg.de/ppre/download/Downloads/ENERG%CDAS_RENOVABLES.pdf

[20] VINASCO J. Tecnología del biogás. (En Línea). (Consultado el 21 de Octubre, 2008). Disponible en:
http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

[21] PERALTA J. (2005). Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. (En Línea). (Consultado el: 4 de Noviembre, 2008). Disponible en:
http://www.sag.gob.cl/pls/portal/docs/PAGE/PG_SAG_BIBLIOTECA/BIBL_MEDAMB/BIBLIO_MA_GAMB/BIBLIO_MA_GAMB_DOCS/MANEJO_PURINES_PORCINOS.PDF

[22] BARLOCHER F. (2004). Análisis de Factibilidad y de Sostenibilidad de una Planta de Biodigestión Anaeróbica en la Región Urabá, Colombia. (En Línea). (Consultado: 1 de Mayo, 2007). Disponible en: http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/59247/---/l=2

[24] CONELEC. (En Línea). (Consultado 21 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www,conelec.gov.ec/

[25] Asociación Nacional de energía solar, AC. La revista solar No. 57. (En Línea). (Consultado: 20 de Octubre, 2008). Dimensionamiento, selección y beneficios del uso de calentadores solares de agua en el sector doméstico, Trece acciones para la transición energética de México: Una propuesta para el Plan de Gobierno 2006-2012. Disponible en: http://www.anes.org/publicaciones/revista/Solar57.pdf

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. (En Línea). (Consultado: 5 de Agosto de 2008). Disponible en: http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea02s/ch17.htm#7.

En las siguientes páginas se consulto definiciones de términos desconocidos:

- http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada
- http://www.wordreference.com/
- http://es.wiktionary.org/wiki/
- http://www.infojardin.net/
- http://www.wordreference.com/
- http://www.policiafederal.gov.ar/esp/dep/supfedbom/supbomberos/seguridadcontraincendios/ambiental/Peachimetro.htm
- http://www.urbipedia.org/
- http://es.thefreedictionary.com/

Anexos:

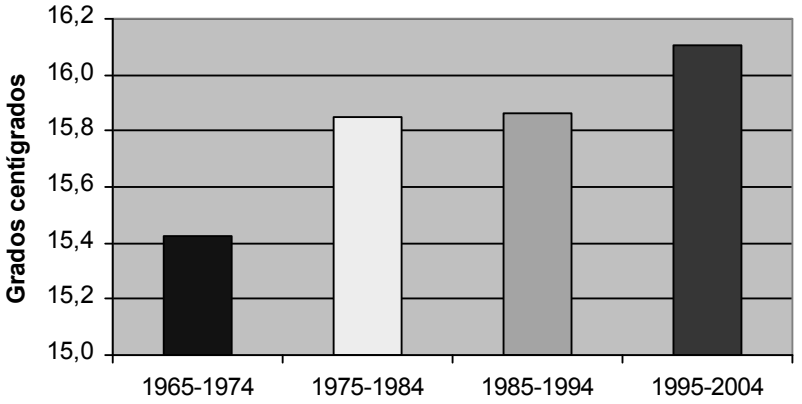
Anexo Capitulo 3.

Tabla 3.1. Distribución de la temperatura media de la ciudad de Loja (Período 1965-2004)

Especif	E	F	M	A	M	J	JUL	AG	S	O	N	DIC	MEDIA	OSC
Med40años	15,9	16,0	16,1	16,3	16,1	15,5	14,9	15,2	15,8	16,3	16,4	16,3	15,9	1,6
C.V. *	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4
Max.Abs.	24,9	24,7	24,6	24,7	24,8	23,7	23,1	23,9	25,1	25,9	26,0	25,8	24,8	2,9
Min. Abs	8,0	8,9	8,6	8,7	8,0	7,8	7,1	6,8	6,7	6,6	5,1	6,3	7,4	6,1
Media 65-74	15,5	15,7	15,6	15,8	15,6	15,1	14,6	14,8	15,2	15,7	15,9	15,7	15,4	1,3
Media 75-84	15,8	16,0	16,2	16,2	16,1	15,4	14,8	15,0	15,7	16,1	16,4	16,4	15,8	1,6
Media 85-94	15,9	15,9	16,0	16,2	16,1	15,5	14,7	15,2	15,8	16,2	16,4	16,4	15,9	1,7
Media 95-2004	16,1	16,1	16,3	16,4	16,2	15,7	15,1	15,6	16,2	16,7	16,6	16,3	16,1	1,6

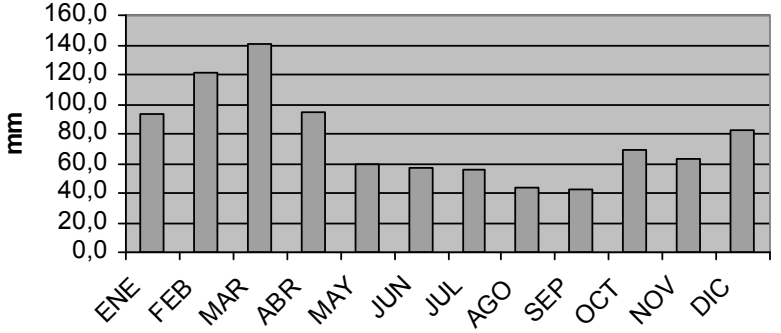
C.V.= Coeficiente de variación
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Grafico 3.1 Fluctuación de la temperatura media del aire de la ciudad de Loja por décadas.



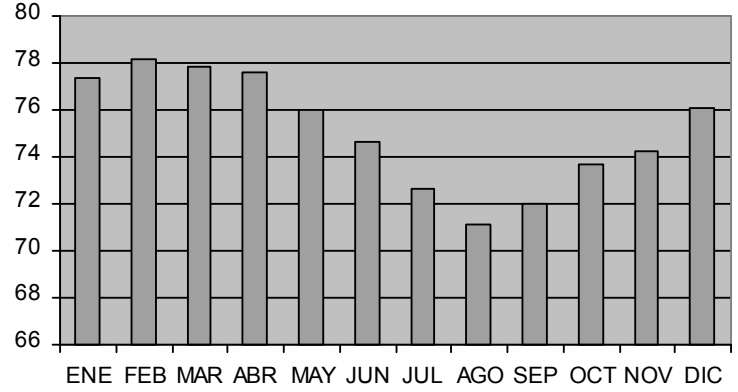
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Gráfico 3.2. Distribución anual de la lluvia en la ciudad de Loja (promedio 1965-2004)



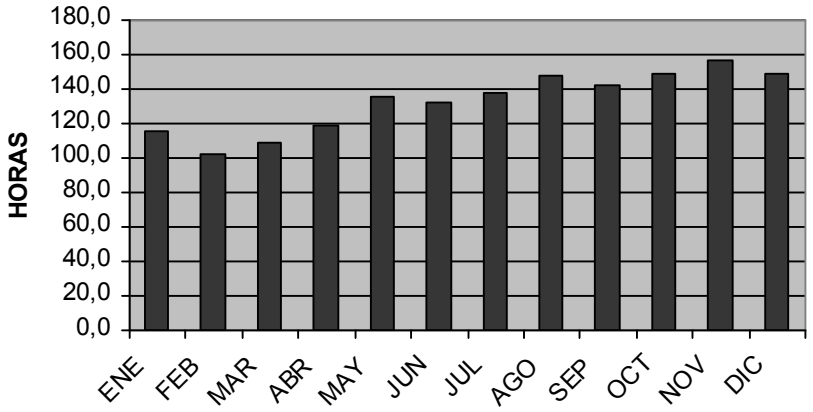
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Gráfico 3.3. Humedad relativa media del aire (%) de la ciudad de Loja (promedio 1965-2004)



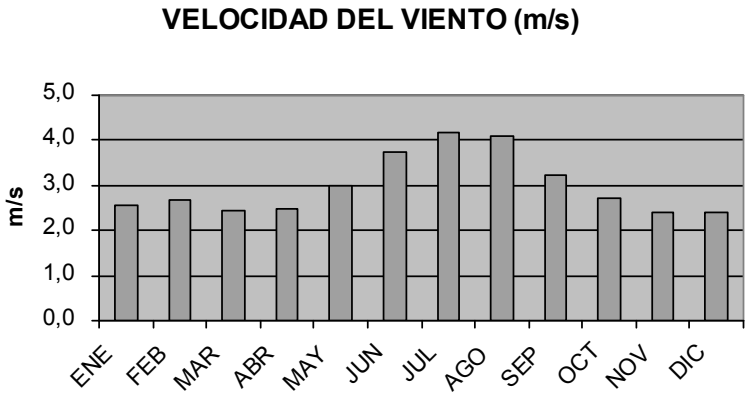
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Gráfico 3. 4. Horas de brillo solar mensual de la ciudad de Loja. (Promedio 1965-2004)



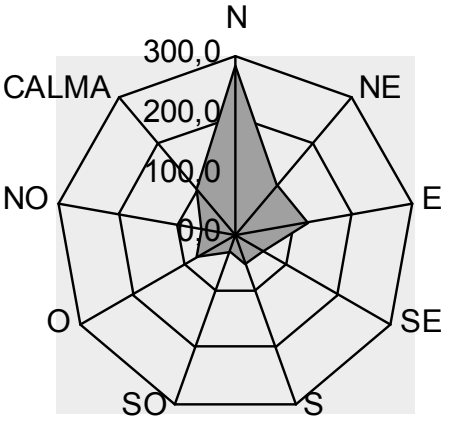
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Gráfico 3.5. Velocidad media del viento (m/s) de la ciudad de Loja (promedio 1965-2004)



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Gráfico 3. 6. Dirección de los vientos (frecuencia) sobre la ciudad de Loja.



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Tabla 3.2. Clasificación y caracterización de los Suelos de la Provincia de Loja.

Características generales	Clasificación	Relieve y altitud	Características particulares	Superficie	
				ha	%
Suelos pocos profundos, erosionados de textura variable. S	TROPORTHENTS (S1)	Fuerte, >2400 m s.n.m.	Suelos de áreas húmedas, M. O. >3%	13860.0	1.25
	USTORTHENTS (S2) TORRTORTHENTS (S3)	1600 – 2400 m s.n.m. < 1600 m s.n.m.	Suelos de áreas secas M. O. < 3% Suelos de áreas muy secas, M. O. < 15	54590.0 366440.0	4.94 33.16
Suelos jóvenes de color amarillo, arcillosos – área 11200, a veces muy pedregoso arcilla motorillonitica. L	TROPUDALES O)	Fuertemente onduladas 2400 – 2800 m s.n.m.	Suelos de áreas húmedas, pH ligeramente ácido	1260.0	0.11
	HAPLUSTALES O USTROPEPTS (L2)	1800 – 2400 m s.n.m.	Suelos de áreas secas, pH neutro.	9720.0	0.88
	USTROPEPTS – ORTHIDS (L3)	<1800 m s.n.m.	Suelos de áreas muy secas, pH alcalino	480.0	0.04
Suelos rojos a pardo amarillento con alteración muy profunda. Arcilla tipo caolinita. Saturación de bases < 35%. F	DYSTROPEPTS (F1)	> 2400 m s.n.m., generalmente sobre rocas volcánicas recientes	Suelos con epipedón muy negro en áreas húmedas y frías	995110.0	9.01
	DYSTROPEPTS (F2)	< 2400 m s.n.m.	Suelos con epipedón más claro en áreas húmedas, frecuentemente erosionadas sobre pendientes fuertes	116910.0	10.58
Suelos rojos o pardo amarillentos, arcillosos. Presencia de caolinitas en superficies y montmorilloñita en profundidad. Saturación de bases >50%. K	TROPUDALES O EUTROPEPTS (K1)	>2400 m s.n.m.	Suelos en áreas húmedas.	26350.0	2.38
	HAPLUSTALFS O EUTROPEPTS (K2)	< 2400 m s.n.m.	Suelos en áreas secas.	69980.0	6.31
Suelos rojos a pardos, generalmente con restos de roca madre con poco meteorizada entre 1 y 2 m. de profundidad arcillosos (caolinita). Saturación de base > 35%. G	TROPUDALES O EUTROPEPTS (G1)	> 2400 m s.n.m. sobre relieves ondulados.	Suelos en áreas húmedas.	3578.0	3.24
	HAPLUSTALFS (G2)	Pendientes 12 – 58% 1600 – 2000 m s.n.m	Suelos en áreas secas.	6980.0	0.63

Fuente: Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. (En Línea). (Consultado: 5 de Agosto de 2008). Disponible en: http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea02s/ch17.htm#7.

Tabla 3.3. Textura profundidad efectiva y capacidad de almacenamiento del agua de los suelos de Loja, de acuerdo a zonificación edafo-climático.

N°	ZONA EDAFO-CLIMATICA	AREA km2	CLASIFICACION TAXONOMICA ORDEN	TEXTURA	PROFUNDIDAD EF. (cm)	ALMACEN MED (mm)
1	Saraguro, El Tablón Tenta, Selva Alegre Manu	510	Alfisol	FoAc a Ac	40	60
			Inceptisol	Fo	40	
2	Loja, Jimbilla, San Lucas, Chuchiribamba, Chantaco	442	Entisol	Fo	20-30	50
			Inceptisol	FoAo	30	
			Alfisol	FoAc	30-40	
3	Malacatos, Vilcabamba, La Merced, La Era	318	Entisol mod. degradados	Fo	30-40	85
			Entisol aluvial	FoAo	60	
4	Yangana, Filo de Yamburara, Cerro Campana	369	Inceptisol	FoAo		55
			Alfisol	FoAc		
			Entisol	Fo		
5	Catamayo, San Pedro de la Bendita, Vega Grande, Las Cochas	606	Entisol aluvial	FoAo	60	85
			Vertisol	Ac	50	
6	Gonzanamá, Purunuma Quilanga, Changaimina	555	Alfisol	FoAcAo	40	55
			Inceptisol	FoAc	30-40	
			Entisol degradados	AoLo	30	
			Entisol aluvial	AoFo	80	
7	Cariamanga, Sozoranga, Colaisaca, Tacamoros, Nueva Fatima	916	Inceptisol	FoAo	30	50
			Entisol (Utuana)	FoAcAo	20-30	
8	Amaluza, Sta. Teresita, San Antonio de las Aradas, Fundochamba	591	Inceptisol y Alfisol	FoAcFo	20-40	60
			Entisol	FoLo	20-30	
9	Catacocha, Yamana Cruzpamba, Mangaurquillo	608	Alfisol y Vertisol	FoAc	30-40	45
			Inceptisol	Fo	25-35	
			Alfisol	FoAcLo	40-50	
			Entisol	FoAo	20-30	
10	Celica, Guachanamá, Lauro Guerrero, Cangonamá, El Cisne	417	Inceptisol	Fo	25-35	50
			Alfisol	FoAc	30-40	
			Entisol	FoAo	20-30	
11	Macará, La Victoria, El Ingenio, Larama Casanga	1260	Entisol degradado	AoLo	20-30	90
			Entisol aluvial	FoAo	>80	
			Alfisol	FoAc	60	
			Molisol	Fo	80	
12	Zapotillo, Limones, Garzarreal, Paletillas, Cazaderos	1124	Entisol en formac.	FoLo	20	80
			Entisol aluvial	Fo	>80	
			Alfisol	FoAc	40-50	
13	Yulug, Sumaipamba, Seucer, Putushio	214	Entisol degradado	AoLo	20	50
			Alfisol	Ac	60	

Fuente: Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. (En Línea). (Consultado: 5 de Agosto de 2008). Disponible en: Fuente: http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/ch13.htm

Fo = Franco
Ao = Arenoso
Ac = Arcilloso
Lo = Limoso