Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Agronomía

Evaluación técnico-económica para la implementación de un biodigestor anaeróbico en una lechería tipo de la Región de Los Lagos

Memoria presentada como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Rodrigo Alejandro Urra Balcazar

Valdivia – Chile

2009

PROFESOR PATROCINANTE:

Roberto Daroch P.
Ing. Agr., M. Sc.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos.

PROFESORES INFORMANTES:

Dante Pinochet T.
Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos.

Víctor Moreira L.
Ing. Agr., M. Sc., M.S.,Ph.D.
Instituto de Economía Agraria.

AGRADECIMIENTOS.-

A Dios, por las personas que puso en mi camino.

A mis tíos Luis, Nelly, Carlos, Rosa y mis abuelitos Alamberto y María, quienes me acogieron y tratan como un hijo.

A Johanna en quien finalmente encontré el amor y compañía, gracias por la paciencia.

A mi primo Jorge quien siempre ha estado cuando necesito de su ayuda.

A mis Padres, Alamberto y Judith, a quienes agradezco de todo corazón su amor y comprensión.

A mis hermanas Andrea y Daniela, por su amor y apoyo.

A mi abuelita Georgina y mi tía Rosa; quienes me acompañan desde el cielo. Siempre estarán presentes.

Y a todos quienes con sus palabras y consejos demostraron interés.

DEDICADA A MIS PADRES Y HERMANAS.

ALAMBERTO, JUDITH, ANDREA Y DANIELA.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Efluentes de lechería	5
2.2	Tratamiento de efluentes	6
2.3	Digestión anaeróbica	7
2.4	Historia de la digestión anaeróbica	8
2.5	Fermentación anaeróbica	10
2.5.1	Etapa hidrólitica	11
2.5.2	Etapa de acidificación	11
2.5.3	Etapa metanogénica	11
2.6	Factores que afectan la producción de biogás	13
2.6.1	Tipo de materia prima	14
2.6.2	Temperatura del sustrato	14
2.6.3	Velocidad de carga volumétrica	17

2.6.4	Tiempos de retención hidráulica	17
2.6.5	Valor de acidez (pH)	19
2.6.6	Contenido de sólidos	20
2.6.7	Inclusión de inoculantes	20
2.6.8	Agitación – mezclado	21
2.6.9	Inhibidores	21
2.7	Componentes del sistema	23
2.7.1	Subproductos de la digestión anaeróbica	24
2.7.1.1	Biogás	24
2.7.1.2	Bioabono	26
2.8	Biodigestores	28
2.8.1	Clasificación de biodigestores	29
2.8.2	Los sistemas utilizados para digerir los residuos de lechería	30
2.8.2.1	Digestores de baja carga	31
2.8.2.1.1	Las lagunas anaerobias	31
2.8.2.1.2	Digestores de flujo continuo	31
2.8.2.2	Digestores de alta carga	32
2.8.2.2.1	Digestores de mezcla completa	32
2.8.2.2.2	Los digestores de contacto	32
2.9	Contenido de sólidos	33

2.10	Alimentación del biodigestor	34
2.11	Degradación de la biomasa	35
2.12	Usos del biogás	36
2.13	Acondicionamiento del biogás	37
2.14	Aspecto sanitario	38
2.15	Aspectos a considerar en la construcción de un biodigestor	38
2.16	Legislación aplicable a las empresas ganaderas	39
2.17	Evaluación económica	41
3	MATERIAL Y METODOS	42
3.1	Material	42
3.1.1	Fuentes de información	42
3.1.2	Plan de inversiones	42
3.2	Método	43
3.3	Diseño de la investigación	43
3.4	Estudio técnico	43
3.4.1	Ubicación de la Unidad	43
3.4.2	Características climáticas	43
3.5	Diseño propuesto	44
3.6	Estudio Financiero	44
3.6.1	Determinación de costos	44

3.6.2	Determinación de los ingresos	44
3.7	Evaluación económica del proyecto	45
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
4.1	Lechería tipo	46
4.2	Consideraciones generales para la unidad	46
4.3	Consideraciones generales en la construcción y selección de materiales para el biodigestor	47
4.4	Especificaciones del sistema	48
4.4.1	Tanque de alimentación	49
4.4.2	Digestor	50
4.4.3	Pozo de descarga	51
4.4.4	Tuberías de biogás	51
4.4.5	Trampa de agua	52
4.4.6	Trampa de Sulfuro de hidrogeno	52
4.4.7	Geomembrana de polietileno de alta resistencia (HDPE)	52
4.4.8	Sistema de calefacción	52
4.4.9	Sistema de agitación	53
4.5	Datos básicos para la unidad de digestión anaeróbica para la evaluación técnica	55
4.6	Flujos generados de la lechería para la carga del sistema	56

4.7	Volúmenes necesarios para el dimensionamiento del sistema	57
4.8	Producción de Biogás	60
4.9	Producción de electricidad	61
4.10	Valorización económica de los efluentes del sistema	62
4.11	Bonos de carbono	63
4.12	Evaluación económica del sistema	64
4.13	Detalle de la inversión	65
4.14	Flujo de caja	66
4.15	Financiamiento – tabla de amortización	66
4.16	Cuadro de fuentes y usos de fondos	66
4.17	Indicadores financieros	67
5	CONCLUSIONES	69
6	BIBLIOGRAFÍA	71
7	ANEXOS	77

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características de las fases acidogénica y metanogénicas	13
2	Rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias	15
3	Inhibidores de la fermentación anaeróbica y su concentración	23
4	Características del biogás	25
5	Composición del bioabono en base a la materia seca	27
6	Comparación de componentes nutricionales en efluentes	27
7	Clasificación de los digestores para lecherías	31
8	Porcentaje de sólidos para clasificar los digestores, excreciones, manejo y producción de biogás	33
9	Características de digestores según TRH y concentración de sólidos	34
10	Artefactos que utilizan biogás	36
11	Parámetros básicos para los cálculos	55
12	Parámetros y cantidad de flujos generados para la carga	56
13	Volúmenes del tanque de alimentación, digestor y pozo de descarga	58
14	Dimensiones del tanque de alimentación y digestor	58
15	Cantidad de Hormigón y estuco térmico	59

16	Estimación de la producción de Biogás	60
17	Producción de electricidad	61
18	Ingresos por unidad orgánica antes y después de la remoción.	62
19	Cantidad de CO_2 para los tres escenarios	63
20	Resumen de los Indicadores financieros	67

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Tipos de Digestores operando en Estados Unidos	10
2	Resumen en dos fases de la fermentación metanogénica	12
3	Producción de gas a diferentes temperaturas de funcionamiento y tiempos de retención	16
4	Relación TRH y producción de biogás según materia prima. A) Pasto verde; B) estiércol vacuno; C) paja	18
5	Relación directa entre el tiempo de retención hidráulico y los sólidos volátiles convertidos al gas	19
6	Etapas de la descomposición y de las formas del material	24
7	Proceso producción de biogás	30
8	Usos del biogás	35
9	Componentes del diseño	48
10	Transformación de la materia prima y condiciones del diseño propuesto	54

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Cálculos de la planta de biogás	78
2	Cálculo bomba hidráulica	101
3	Caldera	103
4	Cálculos para estimar la caldera necesaria	104
5	Detalle de la inversión inicial	107
6	Ingresos y costos	109
7	Crédito de inversión	111
8	Indicadores económicos	113
9	Escenario normal	115
10	Escenario optimista	124
11	Escenario pesimista	133
12	Geomembrana de polietileno alta densidad	142
13	Motor generador de electricidad	143
14	Pintura epoxica	144
15	Cañería de captación de biogás que atraviesa el hormigón y trampa de agua	145
16	Geomembranas utilizadas en digestores y anclaje de la geomembrana	146

	mediante platinas	
17	Intercambio de calor mediante cañerías	146
18	Termómetro de Columna. Tipo Caldera	147
19	Manómetros con Diafragma	148
20	Flujómetro	148
20	Estuco aislante térmico	149

RESUMEN

El estudio estipula la factibilidad de implementar un biodigestor anaeróbico usando como materia prima los purines de 100 vacas lecheras de un plantel tipo ubicado en la Región de Los Lagos. Para ello, se evalúa la construcción de 2 biodigestores enterrados de 103 m^3 cada uno, los purines deberán ser calentados y agitados, con una temperatura óptima de 35°C durante un tiempo de permanencia de 25 días, para el procesamiento de una carga de 7 m^3 diarios, con ello se estima poder generar 438 kW-h/día, que junto al bioabono y los bonos de carbono se evalúan monetariamente.

El proyecto en estudio analizó financieramente tres escenarios; un escenario normal en donde el biogás contiene un 65% de metano, un escenario optimista, donde la producción de metano es mayor en un 10 % de lo normal, y un escenario pesimista, en donde la producción de metano es menor a 10 % de lo normal.

Es factible técnicamente la construcción. En el escenario normal se obtiene un valor actualizado de beneficios netos (VABN) de $ 57.107.103, la tasa interna de retorno (TIR) alcanza 45,28%, un punto de equilibrio de 83,66 y periodo de recuperación de 2 años y un periodo de recuperación descontando 5 años. En el escenario Optimista se obtiene un VABN de $114.302.416, una TIR alcanza 77,20%, un punto de equilibrio de 78,57 y periodo de recuperación de 1 años y un periodo de recuperación descontando 3 años. En el escenario Pesimista se obtiene un VABN de $49.371.217 y una TIR alcanza 40,60%, un punto de equilibrio de 95,12 y período de recuperación de 3 años y un período de recuperación descontando 6 años.

SUMMARY

The study stipulates the feasibility to implement an anaerobic biodigestor using like raw material purines of 100 milk cows of an establishment type located in the Region of the Lagos. For it, the construction of 2 buried biodigestores of 103 m^3 is evaluated each, purines will have to be warmed up and to be shaken, with an optimal temperature of 35°C during a dwell time of 25 days, for the processing of a load of 7 daily m^3s, in this way is considered to be able to generate 438 kW-h daily, that next to bioabono and the carbon bonds are evaluated monetarily.

The project in study I analyze three scenes financially; a normal scene where biogas contains a 65% of methane, an optimistic scene, where the methane production is greater in a 10% of the normal thing, and a pessimistic scene, where the methane production is smaller to 10% of the normal thing.

The construction is feasible technically. In the normal scene an up-to-date value of net benefits (NPV) of $57,107,103 is obtained, the internal rate of return (IRR) reaches 45.28%, a point of balance of 83.66 and period of recovery of 2 years and a period of recovery discounting 5 years. In the optimistic scene an NPV of $114,302,416 is obtained, an IRR reaches 77.20%, a point of 78.57 balance of and period of recovery of 1 years and a period of recovery discounting 3 years. In the pessimistic scene an NPV of $49,371,217 is obtained and an IRR reaches 40.60%, a point of 95.12 balance of and period of recovery of 3 years and a period of recovery discounting 6 years.

1. INTRODUCCION

La dependencia de combustibles fósiles, la contaminación generada por su combustión y el uso indiscriminado de éstos, inducen a pronosticar la extinción de este preciado recurso en un futuro próximo. La suma de los factores anteriormente señalados, han desencadenado en esfuerzos, tales como el desarrollo de estudios y proyectos de uso de energías renovables, para suplir las necesidades cada vez más crecientes en fuerza motriz, generación eléctrica y de calor.

Las llamadas energías renovables, serían capaces de suplir esta necesidad, y dentro de ellas se encuentra la degradación anaeróbica de biomasa, que genera un gas llamado comúnmente biogás.

El uso de esta energía, que no es comúnmente conocida hoy en día, se produjo antes, durante, y por un tiempo posterior a la última guerra mundial. Con las tecnologías actuales, se pretende potenciar para llevar cabo proyectos con resultados prometedores.

El biogás contiene generalmente entre un 60% a 80% de metano (CH_4), encontrándose éste dentro de los gases de invernadero que contribuyen al calentamiento global. El biogás, al ser capturado y ser combustionado para la obtención de energía, disminuye significativamente su poder contaminante en 21 veces, transformándolo en anhídrido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

Producto de esta digestión controlada, se obtiene energía y efluentes enriquecidos en su calidad fertilizante y además la explotación cumple con la normativa medioambiental vigente.

Los biodigestores tienen la gran ventaja, de ser posibles de construir, operar, mantener y controlar en zonas rurales, dando así un valor agregado a los residuos de la explotación agroindustrial, que al ser eliminados sin tratamiento adicional se transforman en un costo.

La producción lechera, no es la excepción, por la gran cantidad de desechos, la falta de capacidad de almacenaje adecuado de los residuos (purines y otros), y la utilización como fertilizantes en época inadecuada (invierno).

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

Como objetivo general:

Evaluar técnica y económicamente la factibilidad de implementar un biodigestor anaeróbico utilizando como materia prima del sistema, los purines de una lechería tipo ubicada en la Región de Los Lagos.

Como objetivos específicos:

1. Evaluar la factibilidad técnica-económica de un modelo de biodigestor anaeróbico, que funcione a temperatura de 35ºC.
2. Utilizar como parámetros del modelo características de las excretas producidas por un plantel de 100 vacas lecheras.
3. Analizar la auto-sustentabilidad del biodigestor considerando los requerimientos de calor y energía producidos.
4. Evaluar la producción de electricidad a partir del biogás generado.
5. Evaluar el uso de los efluentes para la fertilización dentro de la explotación.
6. Analizar la inclusión de Bonos de carbono relacionado al biogás en el estudio financiero del modelo.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Efluentes de lechería

ALAMOS (2004) muestra que la Décima Región de Los Lagos se dedica principalmente a la producción de leche y carne. Esta zona concentra cerca del 50% de la producción de leche del país con una masa ganadera de aproximadamente 250 mil vacas en ordeña que producen 1.050 millones de litros anualmente. En base a la información derivada del informe “La Producción de Leche en Chile” de la UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (2004), las explotaciones lecheras medianas (entre 100 mil y 1 millón de litros anuales) y grandes (sobre 1 millón de litros anuales) de la Décima Región Sur se caracterizan por la crianza de animales destinados a la producción de leche y el saldo es usado para actividades complementarias, como la crianza de reemplazos.

Según ALFARO y SALAZAR (2005), la enorme producción de leche, va asociada a una masiva producción de desechos. Existe una falta de capacidad de almacenaje adecuado de los residuos (purines y otros) siendo ésta una de las grandes limitaciones de los predios lecheros, ya que los utilizaban como fertilizantes en época inadecuada (invierno), produciendo pérdidas de nutrientes y reduciendo su eficiencia.

En la Décima Región de Los Lagos la mayoría de los agricultores (87%) colecta las fecas y orina. Un tercio colecta las aguas sucias de la limpieza de pisos y la mitad colecta las aguas sucias de lavado de equipos de lechería, representando un riesgo de contaminación directa de cursos de agua (SALAZAR *et al*, 2003).

Pero una de las ventajas que presenta la industria es que los residuos pueden usarse *in situ*, a diferencia de otras actividades como producción de salmones, producción porcina, industrias, y otras (Salazar, 2003 citado por TEUBER *et al*, 2003).

Por ello que ahora se está utilizando en los ciclos económicos la llamada producción limpia (PL), la cual es una estrategia de gestión empresarial preventiva que se aplica a productos, procesos y organización del trabajo, así se minimizan emisiones y/o descargas, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental (CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA, 2006).

El Ministerio de Agricultura para el año 2010 se ha propuesto que al menos la mitad del producto agropecuario deberá estar regido por las Buenas Prácticas Agrícolas. Consolidar un país exportador de productos agroalimentarios es una de las metas y esta debe cumplir la normativa ambiental de los países importadores (Salazar, 2003 citado por TEUBER *et al*, 2003).

2.2 Tratamiento de efluentes. Para continuar se debe conocer las siguientes definiciones; Estiércol, excremento de cualquier animal, orina, líquido secretado por los riñones, conducido a través de la vejiga y los uréteres fuera del cuerpo, y purines, mezcla de estiércol y orina con su contenido original de humedad (GUIA DE MANEJO Y BUENAS PRACTICAS PARA EL SECTOR LECHERO DE LA ZONA CENTRAL, 2001).

CAMPOS *et al*. (2004), indican que no existe ningún tratamiento que elimine los purines o los estiércoles. Los únicos componentes eliminables, por transformación en compuestos gaseosos innocuos, son parte de la materia orgánica y del nitrógeno, a anhídrido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2). El resto sólo pueden separarse o concentrarse.

La digestión anaeróbica es uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de purines, la materia orgánica es transformada biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano y dióxido de carbono (biogás) (Metcalf y Eddy, 1998 en Campos 2001 citados por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

MONCAYO (2003), señala que al tomar la decisión de tratar estos desechos, el tratamiento anaerobio, al generar el metano, debe cubrir los gastos energéticos asociados a la depuración, y otras necesidades que tenga la explotación (calefacción, electricidad). Además, el efluente en su fase sólida se puede usar como abono natural, y en su fase líquida tiene utilidad en el riego.

Kassam *et al*. (2002) citado por CONTRERAS y VILCHES (2007) indica que los sistemas aeróbicos generan mayor cantidad de residuos sólidos que los sistemas anaeróbicos, pero estos últimos pueden manejar mayores cargas orgánicas, pudiendo resultar en un incremento de ganancias.

MONCAYO (2003), indica que las depuraciones aerobias (lagunas de oxidación) son deficitarias en energía. Más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema anaeróbico (Muñoz *et al*., 1987 en Campos 2001, citados por CONTRERAS y VILCHES 2007).

2.3 Digestión anaeróbica

CAMPOS *et al.* (2004), MANTILLA (2002), BURKE (2001) y SAMANI (2004), describen la digestión anaerobia, como un proceso biológico en ausencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica de las deyecciones se transforma en una mezcla de gases (biogás). Esta masa está constituida principalmente por metano y dióxido de carbono que puede ser usado como fuente de energía y material residual (efluente).

Según estos autores los objetivos de la digestión anaerobia para los residuos de lechería debieran ser:

1. Reducir la masa de los sólidos.

2. Reducir los olores asociados al producto de los residuos. LAMB, (2002), señala que en un estudio se demostró que se redujo el olor en un 97% sobre el excremento fresco.
3. Producir un efluente reciclado, limpio y concentrado.
4. Lograr un producto sólido para el almacenaje.
5. Generar energía
6. Reducir los patógenos asociados.
7. Lograr la esterilización de semillas de maleza.
8. Transformar el nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico, para hacerlo disponible para las plantas.
9. Además, si material fuera diluido, el proceso debiera ser capaz de atenuar la estratificación y la separación de los sólidos dentro del reactor.

2.4 Historia de la digestión anaeróbica

MONCAYO (2008), señala que Volta, en el año 1776, señaló de la existencia de un gas producido en pantanos y aguas estancadas, relacionándolo a la materia orgánica depositada en el fondo. Pero ya en el año 1600 se hacen menciones del biogás (HILBERT, 2004). En países como India, China, Taiwán, Corea, Tailandia, Kenya y Sudáfrica, se han construido más de 6 millones de biodigestores.

HILBERT (2004), agrega que debido a las guerras mundiales se comienza a usar este gas en tractores y automóviles, a nivel rural en Europa, China e India. Pero abruptamente su uso fue desechado principalmente debido al “boom” petrolero (MONCAYO, 2008). El mismo autor, señala que durante la crisis energética de los 70, se incluyen países de Latinoamérica y el resto del mundo que se vieron en la necesidad de implementar e investigar nuevamente el uso de biodigestores.

MONCAYO (2008), aclara que Alemania va a la vanguardia en el uso de biodigestores, el año 1906 se construyó la primera planta. En el año 1913, se construyó el primer biodigestor con calor, y en 1920, se inyectó biogás a la red pública de gas natural. En el 2007, se instala la primera gasolinera de biogás. Además, en ese año, se desarrollaron las normativas legales, que promueven las instalaciones de generación de biogás con bonos y deducciones de impuestos. En Junio del 2006, se dió inicio al proyecto Agrobiogás en Aarhus, Dinamarca, que consiste en el estudio de producción de biogás a partir de desechos animales y vegetales renovables, todo esto subvencionado por la Unión Europea.

HILBERT (2004), alude que en Latinoamérica: Argentina, Brasil y Colombia, el primero ha desarrollado tecnologías, y los dos últimos países utilizan sistemas europeos bajo licencia. Solo países como China, India, Filipinas y Brasil han desarrollado planes gubernamentales de asistencia técnica y financiera, con reactores sencillos.

Según una publicación de USEPA (United States Environmental Protection Agency Fact Sheet – AgSTAR, 2007), se indica que en la actualidad en EEUU, hay 111 biodigestores en funcionamiento hasta el 2007, producen electricidad, y aprovechan la generación de calor, para varios usos dentro de la explotación.

La FIGURA 1 muestra la tecnología usada y el número de biodigestores en EE.UU.

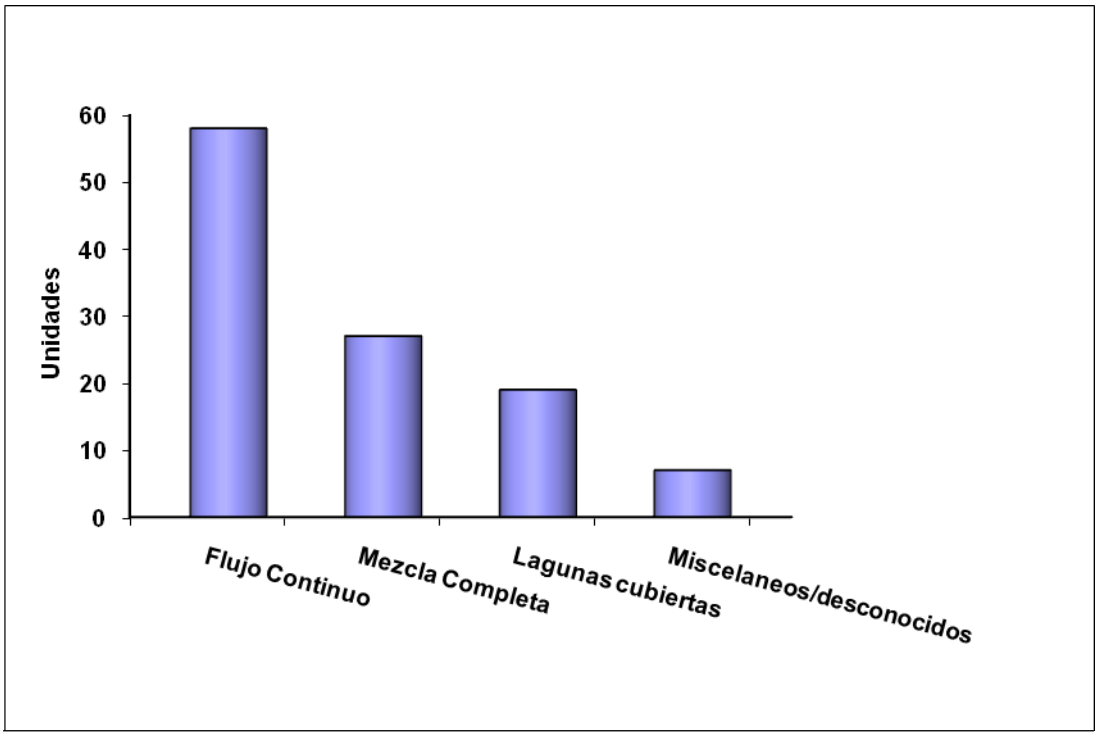


FIGURA 1 Tipos de Digestores operando en Estados Unidos.

FUENTE: MODIFICADO DE USEPA (2007).

Esto demuestra que los modelos de biodigestores usados en EE.UU., se concentran en tres tipos, y que aún es una tecnología poco utilizada, para ser un país desarrollado; pero que aún así, le llevan la delantera al resto del continente Americano.

2.5 Fermentación anaeróbica

MONCAYO (2008), indica que la digestión anaeróbica es un proceso natural que se origina en forma espontánea en la biomasa en ausencia de oxígeno por microorganismos.

La digestión, produce una transformación de la materia orgánica en otros compuestos más simples y de mejor asimilación para los microorganismos presentes en el reactor (ESCRIBANO, s/f.).

Las etapas diferenciadas que constituyen el proceso de la digestión anaeróbica son, etapa hidrolítica, etapa fermentativa o acidogénica y la tercera es la etapa metanogénica (Kiely, 1999, mencionado por González y Sandoval, 2005 citados por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

2.5.1 Etapa hidrolítica. VALERO (s.f.), indica que durante esta fase las sustancias orgánicas de elevado peso molecular, como lípidos, proteínas e hidratos de carbono, en suspensión o disueltas, son transformadas y reducidas a compuestos orgánicos de cadena molecular más corta, principalmente en ácidos grasos volátiles, gases como el CO_2 y hidrogeno (H_2). Estas bacterias son de crecimiento rápido, fermentan la glucosa para producir los mencionados ácidos. El pH de la operación suele ser inferior a 7.

2.5.2 Etapa de acidificación. HILBERT (2004), indica que los ácidos orgánicos de la primera etapa son transformados al grupo acético CH_3-COOH, con liberación de hidrogeno y dióxido de carbono, todo esto gracias a bacterias acetogénicas. El hecho que las bacterias metanogénicas utilicen los productos finales de las etapas anteriores, favorece el proceso, por que activa la reacción de las bacterias acetogénicas, y mantiene el equilibrio energético, debido a que se necesita energía, ya que es una reacción endoexergética.

2.5.3 Etapa metanogénica. Esta es la última etapa, las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas (VALERO, s.f.).

HILBERT (2004), indica que las bacterias de esta fase pertenecen al grupo de achibacterias, que utilizan el acido acético y otros ácidos orgánicos de cadena corta, y a partir de ellos producen metano y dióxido de carbono que son liberados al medio.

La FIGURA 2 resume en dos fases la fermentación metanogénica.

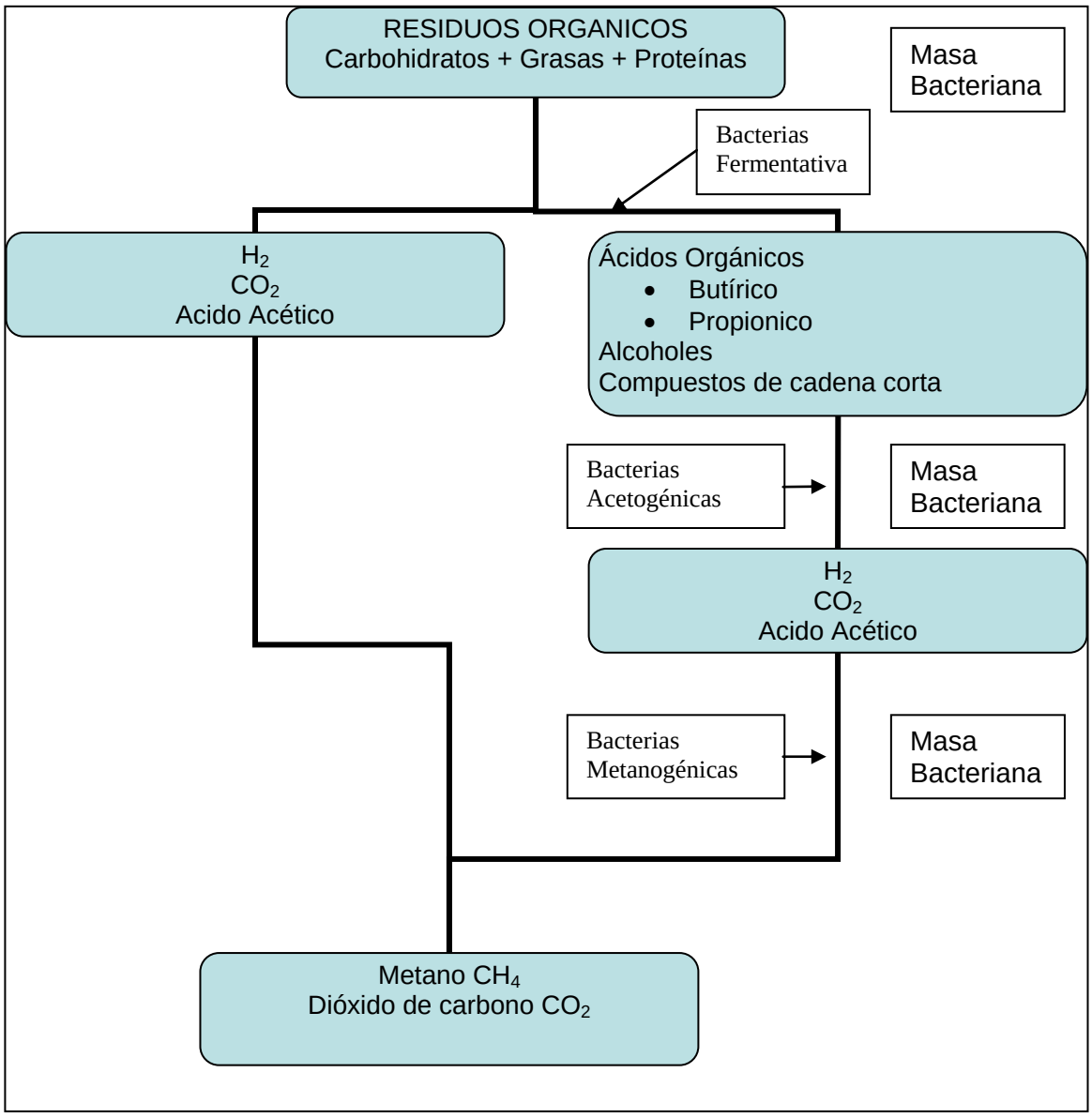


FIGURA 2 Resumen en dos fases de la fermentación metanogénica.

FUENTE: MODIFICADO DE http://www.textoscientificos.com/energia/biogas

Es fundamental comprender el sistema para el óptimo funcionamiento del reactor anaerobio.

El Cuadro 1, resume las características de las fases acidogénica y metanogénicas.

CUADRO 1 Características de las fases acidogénica y metanogénicas.

Fase acidogénica	**Fase metanogénicas**
Bacterias facultativas	Bacterias anaeróbicas estrictas
Alta tasa reproductiva	Baja tasa reproductiva
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, metano y dióxido de carbono

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, MODIFICADO DE http://www.textoscientificos.com/energia/biogas.

2.6 Factores que afectan la producción de biogás

HILBERT (2004), MONCAYO (2005), MARDONES y LY (s.f.), concuerdan que en relación a los factores que afectan a la producción de gas no es posible dar valores cualitativos ya que las bacterias se ven afectadas por diversos factores en forma diferencial. Los siguientes son los más importantes:

- Tipo de materia prima.
- Temperatura del sustrato.
- Velocidad de carga volumétrica.
- Tiempos de retención hidráulica.
- Valor de acidez (pH).
- Contenido de sólidos.
- Inclusión de inoculantes.

- Agitación – mezclado.
- Inhibidores.

2.6.1 Tipo de materia prima. HIBERT (2004) y MONCAYO (2005) indican que el proceso microbiológico requiere de fuentes de carbono y nitrógeno además de un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Los estiércoles presentan estos elementos en proporciones adecuadas.

Yongfu *et al.* (1989) citado por MARDONES y LY (s.f.), indican que materiales con alto contenido de nitrógeno, como las excretas de animales, se descomponen fácilmente y producen biogás en forma rápida; por lo tanto, el período fermentativo es corto.

MONCAYO (2008), señala que no es recomendable cambiar frecuentemente el material con que se alimenta el biodigestor ya que puede inhibir el proceso o colapsarlo, tampoco se debe alimentar con biomasa podrida o descompuesta. Es recomendable ingresar una biomasa desmenuzada para tener una mayor superficie de contacto con las bacterias.

2.6.2 Temperatura del sustrato. El proceso se inicia desde una temperatura mínima de 4º a 5º C y no se debe sobrepasar de 70ºC (HILBERT, 2004).

El Cuadro 2 diferencia tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan.

CUADRO 2 Rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
Psicrófilo	menos de 20ºC	± 2ºC/hora
Mesófilo	entre 20ºC y 40ºC	± 1ºC/hora
Termófilo	más de 40ºC	± 0,5ºC/hora

FUENTE: http://www.textoscientificos.com/energia/biogas

MARDONES y LY (s.f.), indican que las bacterias metanogénicas son las más sensibles a los cambios de temperatura, debido a que la velocidad de crecimiento de los otros grupos bacterianos es mayor.

Pero, cuando la temperatura desciende numerosas veces o por un tiempo prolongado, esto puede producir un desbalance en la proporción de los microorganismos y problemas de bajos pH (Gunnerson y Stuckey 1986 citado por MARDONES y LY, s.f.). Una digestión termófila (de 35ºC a 55ºC) produce el doble de metano aproximadamente que una digestión mesófilo (de 20ºC a 45ºC). Por consiguiente, los biodigestores termófilo pueden tener la mitad del volumen de uno mesófilo, y aún mantener así la misma eficiencia en el proceso (Gunnerson y Stuckey 1986 citado por MARDONES y LY, s.f.).

Para la digestión sicrófilo (de 10ºC a 25ºC), Marchaim (1992) citado por MARDONES y LY (s.f.), se ha referido condiciones restrictivas como el uso de un inóculo mesófilo y un tiempo de retención más largo.

TORRES y FOLLARI (s.f.) muestran en la Figura 3 las relaciones típicas que existen entre la producción de gas y la temperatura de funcionamiento con diferentes duraciones de tiempo de retención hidráulico (TRH). Observando que a temperatura

baja, por ejemplo 15°C, la producción de gas por unidad de materia orgánica es la mitad que a 35°C y una cuarta parte que a 55°C. Las variaciones de la temperatura son críticas.

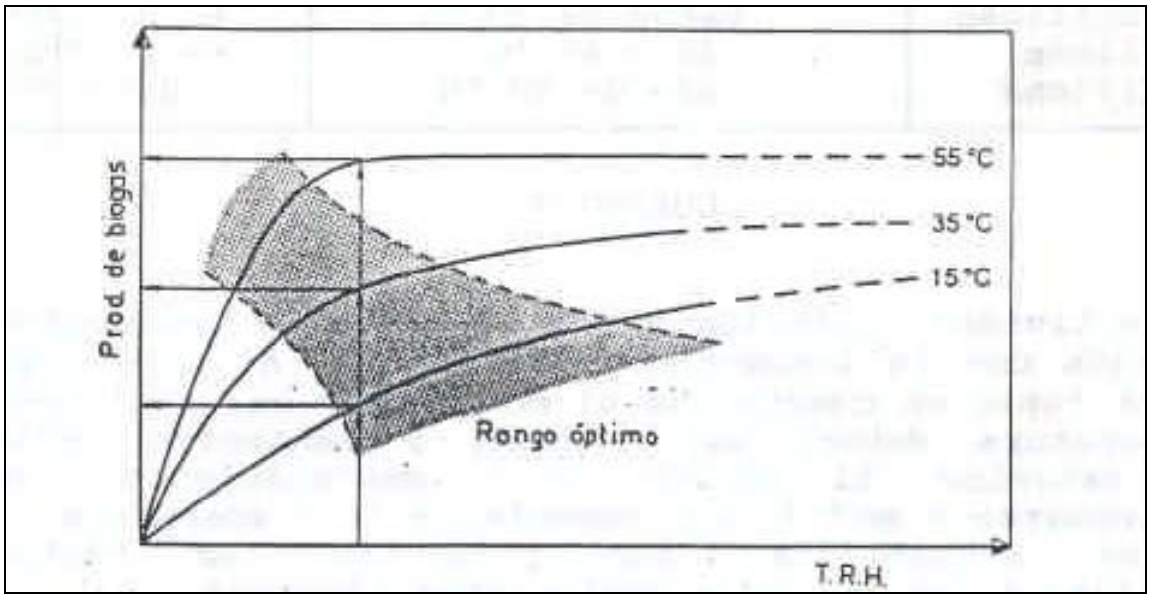


FIGURA 3 Producción de gas a diferentes temperaturas de funcionamiento y tiempos de retención.

FUENTE: HILBERT, 2004.

Por ejemplo, en un digestor donde los residuos permanecen 12 días, la producción de gas por unidad de sólidos volátiles totales añadidos diariamente, es 20% mayor a 45°C que a 35°C (Carrillo, 2003, citado por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

Para la construcción de un digestor de mezcla completa a temperatura mesófila, el calentamiento y agitación del material, son determinantes para mejorar la conversión de la materia orgánica en biogás, bajar la carga contaminante y mejorar en su calidad fertilizante (MONCAYO, 2008).

2.6.3 Velocidad de carga volumétrica. MARDONES y LY (s.f.), indican que el ritmo de carga es la cantidad de material que se introduce diariamente al biodigestor, y generalmente se expresa como materia seca (MS) o materia orgánica (MO).

En un reactor anaerobio, el contenido total de MS en la carga no puede exceder el 10%; por ello muchas veces hay que diluir el material (Oler, 1974 citado por MARDONES y LY, s.f.).

La fermentación en el biogás requiere de un rango de concentración de MS, desde 1% hasta 30% (Yongfu *et al*., 1989, MARDONES y LY, s.f.).

2.6.4 Tiempos de retención hidráulica. MARDONES y LY (s.f.), indican que en términos absolutos por unidad de sustrato mientras más tiempo estén las sustancias descargadas en el biodigestor, mayor será la producción de gas. El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la proporción entre el volumen del reactor o digestor, dividido por la carga diaria. En condiciones de campo es práctico medir el TRH.

HILBERT (2004), indica que el TRH está unido a dos factores: el tipo de sustrato y su temperatura. Una mayor temperatura disminuye los tiempos de retención y será menor el volumen del reactor necesario para digerir un determinado volumen de material. La relación costo beneficio es quién determina la optimización entre la temperatura y el TRH, ya que varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia. Los materiales con mayor proporción de carbono retenido demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

En la Figura 4 se observa el TRH, la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica.

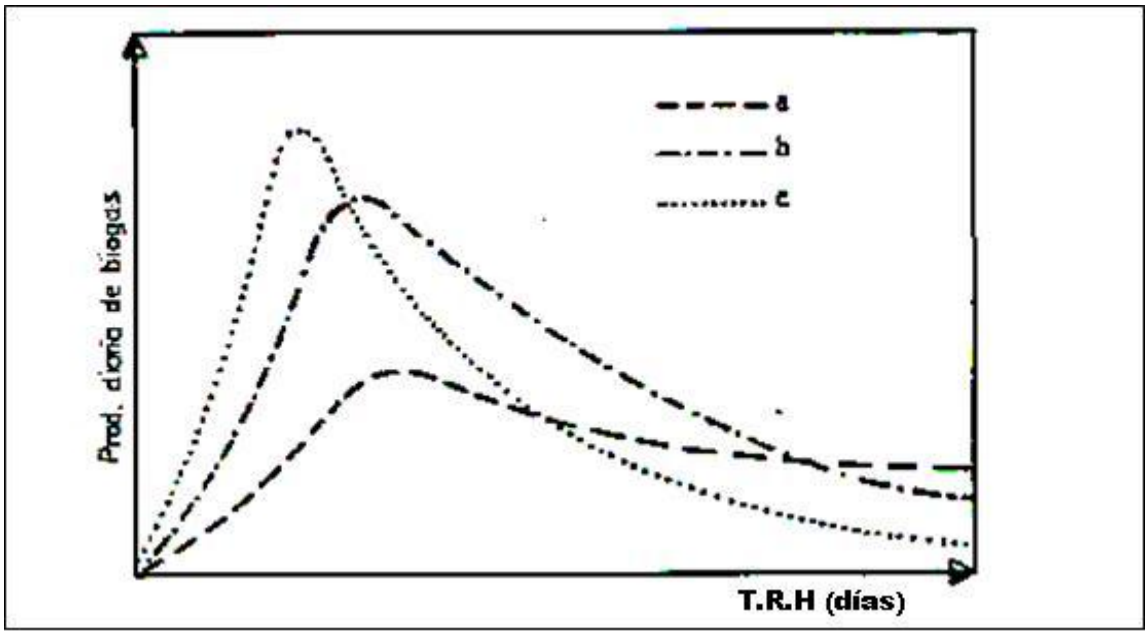


FIGURA 4 Relación TRH y producción de biogás según materia prima. a) Pasto verde; b) estiércol vacuno; c) paja.

FUENTE: HILBERT (2004).

El límite mínimo de los TRH está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a la continua salida de efluente del digestor, debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias dentro del reactor o con cámaras de digestión con grandes superficies internas donde se depositan las bacterias u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas (HILBERT, 2004).

BURKE (2001), indica que existe una relación directa entre el tiempo de retención hidráulico y los sólidos volátiles convertidos al gas (FIGURA 5).

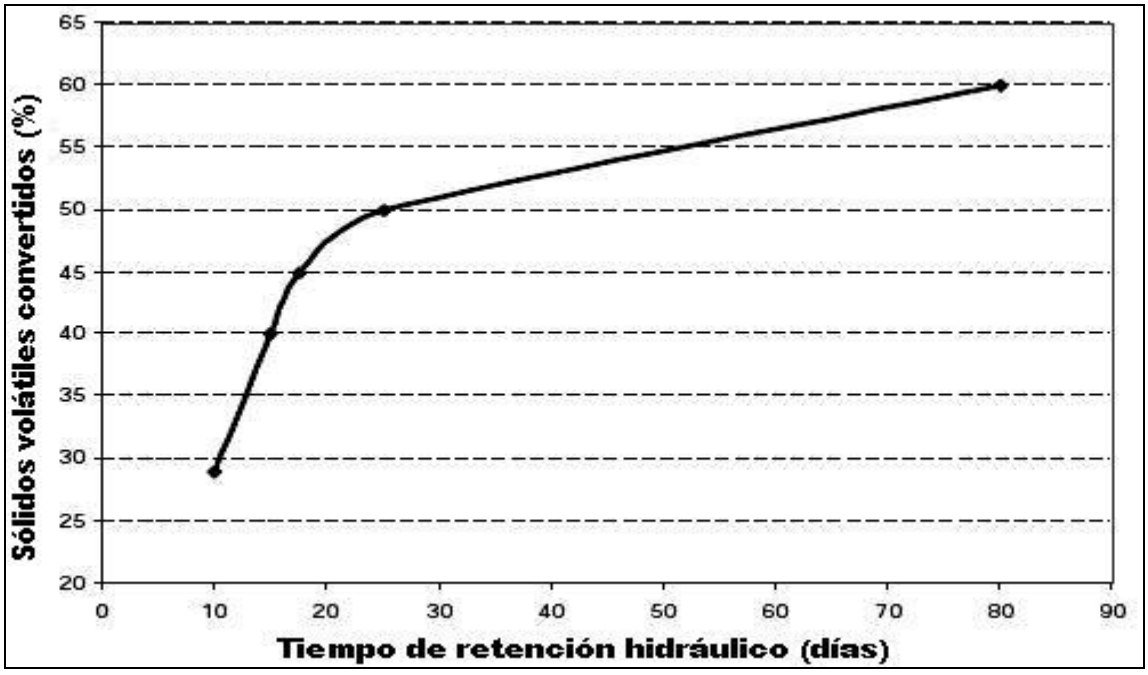


FIGURA 5 Relación directa entre el tiempo de retención hidráulico y los sólidos volátiles convertidos al gas.

FUENTE: BURKE (2001).

Si el índice de la pérdida bacteriana excede el índice del crecimiento de las bacterias, ocurre un colapso. Se estableció que un máximo de 65 por ciento de los sólidos volátiles del estiércol de la lechería se podría convertir al gas con tiempos largos de la retención de los sólidos (BURKE, 2001).

2.6.5 Valor de acidez (pH). MARDONES y LY (s.f.), y MONCAYO (2005), indican que el valor óptimo de pH está en el rango de 6,6 a 7,6 (YONGFU *et al.,* 1989). Los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) reducen el pH en la fase líquida del digestor. Sin embargo, el equilibrio CO_2/HCO_3 (bicarbonato) en el digestor ejerce una resistencia a los cambios de pH. Existen dos formas para corregir un pH bajo en el biodigestor, la primera es detener la carga del biodigestor y permitir que la población metanogénica reduzca la concentración acídica y así el pH se eleve a un valor razonable. Al detener la carga, también, se hace más lenta la actividad bacteriana y también se reduce la

formación de AGCC. Una vez que el pH retorna a valores normales, la alimentación del digestor puede continuarse a niveles bajos e incrementarla lentamente. Un segundo método es la adición de sustancias tampones o buffer para elevar más rápidamente el pH sin cambiar el ritmo de carga del digestor. Se suele usar para ello la cal. El carbonato de sodio, aunque es más caro, puede prevenir la precipitación de carbonato de calcio.

2.6.6 Contenido de sólidos. BURKE (2001), indica que con un 6% a 7% de sólidos es más eficiente el proceso. Para los residuos de la lechería "excretados", los sólidos totales son aproximadamente de 12% y sólidos volátiles de 10,5%. La mayoría de los sistemas de tratamiento funcionan en una concentración de los sólidos más baja que de valores excretados.

HILBERT (2004), indica que al aumentar el contenido de sólidos, la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se limita afectando la eficiencia y producción de gas.

MONCAYO (2005), concluye si la alimentación está muy diluida, las bacterias no tienen suficiente alimento para vivir; mientras que un exceso en sólidos disminuye la movilidad de los microorganismos y por consiguiente la efectividad del proceso, ya que les impide acceder al alimento.

BURKE (2001), indica que la dilución también evita la estratificación dentro del digestor. En la estratificación la paja indigerida forma un estrato grueso encima del digestor mientras que la arena se acumula en el fondo.

2.6.7 Inclusión de inoculantes. HILBERT (2004), indica que el crecimiento bacteriano dentro de los digestores tres etapas: la de arranque, la de estabilización y la declinación.

El mismo autor, señala que para evitar la pérdida de tiempo que conlleva la primera etapa, se hace una inclusión de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Se debe considerar en la inoculación que mientras mayor sea la proporción y menor sea su edad, mayor será la eficacia.

2.6.8 Agitación – mezclado. HILBERT (2004), señala que con la agitación y/o mezclado se remueven los metabolitos de las bacterias metanogénicas, se mezcla el sustrato fresco, se evita la formación de una costra superficial, y se evitan espacios sin actividad biológica. Todo lo anterior se logra con un simple batido manual, el movimiento provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.

Langer y Rodolfo, 1985, citados por CONTRERAS y VILCHES, 2007, concluyen que la agitación aumenta la producción de gas y disminuye el tiempo de retención hidráulica.

2.6.9 Inhibidores. MARDONES y LY (s.f.) indican que para las bacterias metanogénicas, son las más sensibles a los compuestos tóxicos. Como indicadores son la disminución en la producción de metano y un incremento en la concentración de AGCC en el medio. Cualquier nutriente esencial puede resultar tóxico si su concentración se vuelve muy alta.

El nitrógeno en concentraciones altas, genera amoníaco, y estos deben mantenerse por debajo de 80 ppm (Anderson 1982 citado por MARDONES y LY, s.f.), aunque concentraciones altas, entre 1500 y 3000 ppm, aún puede tolerarse en el medio (Gunnerson y Stuckey 1986 citado por MARDONES y LY, s.f.).

Marchaim (1992) citado por MARDONES y LY (s.f.) indican que los primeros síntomas de inhibición se han detectado con concentraciones de amoníaco de 8000 ppm.

Concentraciones altas de AGCC pueden asociarse también a procesos de toxicidad, pero se asocia más a una caída en el pH del medio (Gunnerson y Stuckey 1986 citado por MARDONES y LY, s.f.).

Rodríguez *et al*. (1996) citado por MARDONES y LY (s.f.) indican que una reducción de gas cuando las excretas procedían de animales tratados con antibióticos, pero las bacterias pueden sobreponerse a estos inhibidores mediante un proceso adaptativo (Youngfu *et al.*, 1989, citado por MARDONES y LY, s.f.).

El Cuadro 3, muestra los tipos de inhibidores y sus concentraciones toxicas para las bacterias.

CUADRO 3 Inhibidores de la fermentación anaeróbica y su concentración.

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
SO4	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
C:N (Bacterias metanogénicas a 2-10 mg/ml).	25 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3.500-5.500 mg/l
K	2.500-4.500 mg/l
Ca	2.500-4.500 mg/l
Mg	1.000-1.500 mg/l

FUENTE: http://www.textoscientificos.com/energia/biogas

2.7 Componentes del sistema

VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASÍSTANSE (1980), muestra (Figura 6) las etapas de la descomposición y las formas del material en cada etapa. Los sólidos inorgánicos en el fondo del tanque son rocas, arena, grava, u otros materiales que no se descompondrán. El efluente es el material semisólido después de que se haya separado de los gases. El sobrenadante es el líquido biológico activo en el cual las bacterias actúan sobre materiales orgánicos. Una espuma dura de material fibroso se encuentra encima del material sobrenadante. El biogás, una mezcla de los gases, sube hasta la tapa del tanque.

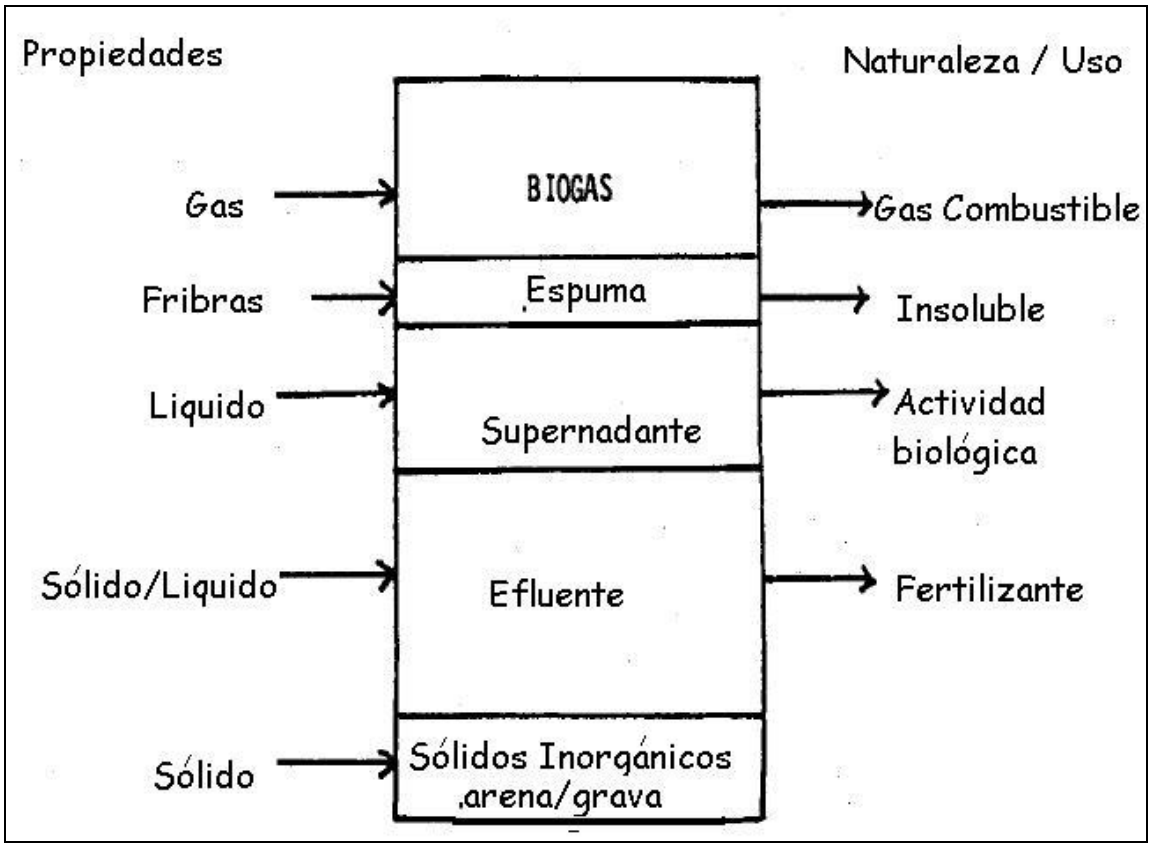


FIGURA 6 Etapas de la descomposición y de las formas del material.

FUENTE: MODIFICADO DE VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASÍSTANSE, 1980.

2.7.1 Subproductos de la digestión anaeróbica. Los subproductos de la digestión anaeróbica son el biogás, biabono y efluente sólido.

2.7.1.1 Biogás. El biogás es una mezcla de metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) (HILBERT, 2004).

Autores como VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASÍSTANSE, 1980, HAMMEKEN y ROMERO, 2005, CONTRERAS y VILCHES, 2007, HILBERT, 2001 y DEUTSCHE

GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ), 1999b coinciden con los valores del siguiente Cuadro 4 que resume las características del biogás.

CUADRO 4 Características del biogás.

CARACTERISTICAS	CH_4	CO_2	H_2-H_2S	O T R O S	BIOGAS 60/40
Proporciones (%)	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico (MJ/m^3)	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor Calórico ($kCal/m^3$)	8600	-	2581	5258	5140
Ignición (% en aire)	5-15	-	-	-	6-12
Temp. ignición (ºC)	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica (Mpa)	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Peso específico (g/l)	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. (% aire)	5-15	-	-	-	6-12

FUENTE: http://www.textoscientificos.com/energia/biogas

CONTRERAS y VILCHES (2007), concluyen que el biogás es convertido a partir de sólidos volátiles, el “rendimiento teórico de metano” es la productividad de metano en términos de sólidos volátiles destruidos (si hay una completa degradación de todos los componentes orgánicos en el purín).

MONCAYO (2005), indica que un parámetro que puede indicar si se está desarrollando la degradación anaeróbica adecuadamente o no, es el propio producto. Valores entre 0,4 y 0,7 metros cúbicos de metano por kilogramo de DQO (Demanda Química de Oxigeno) eliminada, indican una buena digestión.

Uno de los componentes no deseados es el ácido sulfhídrico (H_2S), que por sus características corrosivas y se al ser oxidado produce anhídrido sulfuroso. El contenido variable de ácido sulfhídrico puede deberse a un exceso de estiércol en el digestor o a una falta de prefermentación de las sustancias celulósicas. La presencia de anhídrido carbónico disminuye el contenido calórico del biogás por unidad de volumen. Otros investigadores aconsejan no remover el anhídrido carbónico debido a su característica antidetonante (Caviedes y Vergara, 1988 citados por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

CONTRERAS y VILCHES (2007), concluyen que la producción diaria de biogás va a estar influenciada por una serie de factores, junto a los mencionados anteriormente, se les debe sumar, la dieta alimenticia entregada al animal, el tipo de animal, el clima de la zona del predio y el tipo de producción realizada (carne, leche).

WILKIE (2003) establece que producto de la reducción de la demanda química de oxigeno aumenta la producción de metano, en 0.35 m^3, que es equivalente a 12.000 BTU.

2.7.1.2 Bioabono. MONCAYO (2005), indica que en el efluente líquido del biodigestor, la gran mayoría de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) no se pierden. El peso total del biabono es cerca de 30% del material crudo. El bioabono no tiene olor, no posee agentes causantes de enfermedades, posee cerca del 90% de agua y un pH cerca del 7.5 (ver Cuadro 5).

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados (CH_4, CO_2, H_2S) que representan del 5% a 10% del volumen total del material de carga (IICA, 2004; citado por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

CUADRO 5 Composición del bioabono en base a la materia seca.

Componentes	
pH	7,5
Materia orgánica	85 %
N	2,6 %
P	1,5 %
K	1,0 %

FUENTE: Mandujano, Félix y Martinez, citados por CONTRERAS Y VILCHES (2007).

Según Gomero (2005), citado por CONTRERAS y VILCHES, 2007, el abono líquido son una fuente orgánica de fitoreguladores de crecimiento. Deben diluirse en agua, en proporciones que pueden variar desde un 25 a 75 por ciento. Pero estos efectos dependen de los nutrientes y composición que tengan los purines y materia prima en general del digestor (ver Cuadro 6).

CUADRO 6 Comparación de componentes nutricionales en efluentes.

Material	**N (ppm)**	**P (ppm)**	**K (ppm)**
Sólido	650	40	9400
Líquido	500	15	2000

FUENTE: Gomero (2005), citado por CONTRERAS y VILCHES (2007).

El efluente sólido final generado es de aproximadamente un 3% del material inicial (Wetland 2006, citado por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

El bioabono sólido al almacenado puede tener pérdidas por volatilización hasta un 60%, sobre todo de nitrógeno (Decara *et al. (*2004), citados por CONTRERAS y VILCHES, 2007).

2.8 Biodigestores

Rodríguez y Ureta, (1998) citados por CONTRERAS y VILCHES (2007) y MONCAYO (2003), indican que se llama digestores a un tanque herméticamente cerrado, proporcionando un ambiente anaeróbico y en donde ocurre la digestión del material, que permiten la carga (afluente) de sustratos y descarga (efluente) de bioabono y poseen un sistema de recolección de biogás para su aprovechamiento.

GARCIA, 2006, señala que la digestión anaeróbica presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas de un digestor anaerobio

• Debido a la acción de las bacterias metanogénicas un alto porcentaje de la materia orgánica es transformado en gas metano.

• El efluente es menos oloroso que el purín.

• Transformación de desechos orgánicos en biogás y fertilizante de alta calidad.

• Destrucción de hasta 85% de patógenos (huevos de mosca y gusanos), provenientes del purín.

• Menor producción de lodos.

• No requiere aireación.

• Óptimo funcionamiento con altas cargas orgánicas.

• El proceso anaeróbico elimina gran parte de la materia orgánica, transformándolo en biogás, así el sólido residual queda bien estabilizado.

Desventajas de un digestor anaerobio

• Puesta en marcha puede demorar de 1 a 6 meses.

• Sensible a inhibidores tales como O_2, H_2O_2, Cl_2, H_2S, HCN.

• Se producen otros compuestos H_2S altamente corrosivo, mercaptanos, ácidos orgánicos y aldhehídos.

2.8.1 Clasificación de Biodigestores. MONCAYO (2008) señala que la clasificación depende del modo de operación, de llenado y vaciado. Una clasificación general sería según la carga de los digestores de régimen estacionario o lotes, régimen semicontinuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo. Los digestores de lotes o estacionario, se cargan una vez o intervalos por varios días, y se descargan cuando se degrada en su totalidad la biomasa y ya no se produce biogás. Régimen semicontinuo, se utilizan en zonas rurales, dependen del tiempo de retención para su carga, y esta se realiza una vez al día. Horizontales o de desplazamiento, se asemejan a un canal, están enterrados y son de flujo semicontinuo. De régimen continuo, se emplean para digestores de gran tamaño, utilizan agitación y controles de alimentación y descarga.

La siguiente Figura 7 muestra la clasificación de los digestores en forma general, la fermentación húmeda es la más utilizada, en Europa y Latinoamérica.

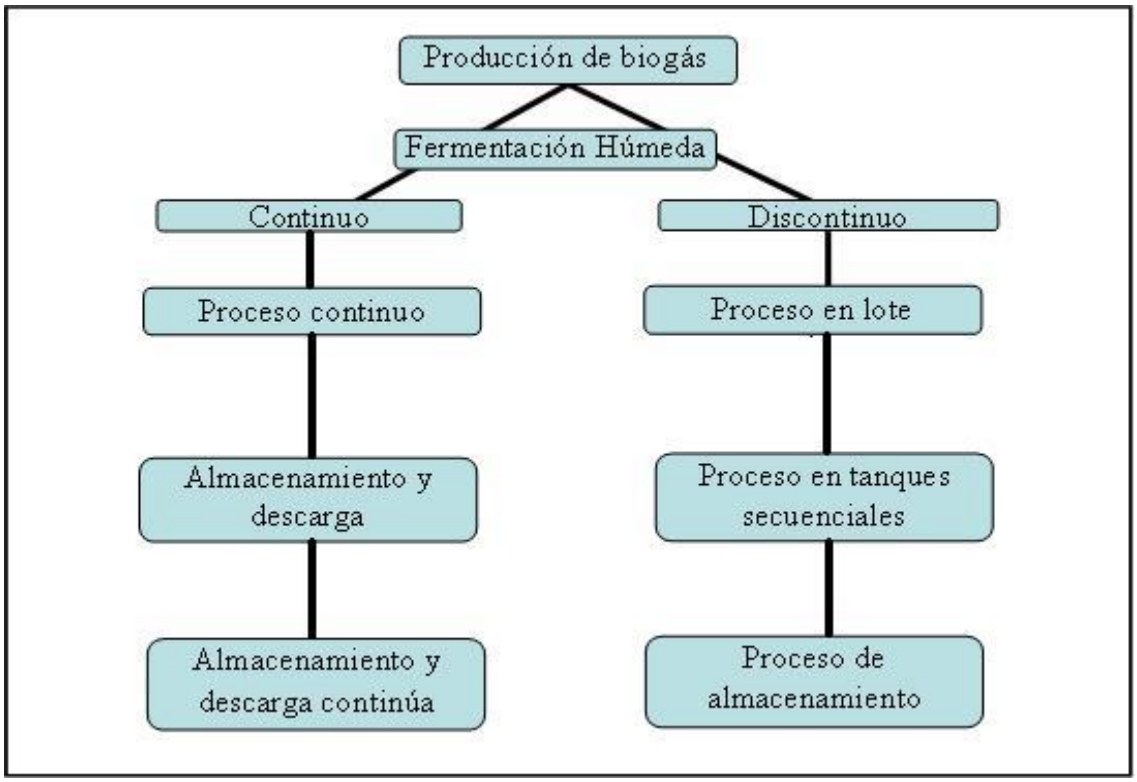


FIGURA 7 Proceso producción de biogás.

FUENTE: Modificado por AQUALIMPIA (2008).

2.8.2 Los sistemas utilizados para digerir los residuos de lechería. Como norma general se pueden clasificar según el sistema de carga, pero puede haber otras, en donde algún componente del sistema puede hacer la diferencia.

HAMMEKEN y ROMERO (2005) y BURKE (2001) indican que los sistemas que se han utilizado para digerir los residuos de lechería se pueden subdividir en alta carga y baja.

El Cuadro 7 muestra la clasificación de los digestores para lecherías.

CUADRO 7 Clasificación de los digestores para lecherías.

BIODIGESTORES	
BAJA CARGA	ALTA CARGA
Lagunas cubiertas	Mezcla completa
Flujo Continuo	Digestores de contacto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

2.8.2.1 Digestores de baja carga. Los digestores de baja carga se clasifican en lagunas anaerobias y digestores de flujo continúo.

2.8.2.1.1 Lagunas anaerobias. BURKE (2001) y LAMB (2002) indican que estas son lagunas, pero cubiertas. Las lagunas funcionan a temperaturas psicrófilas. Por lo tanto, se ven afectadas por variaciones de la temperatura estacional.

2.8.2.1.2 Digestores de flujo continúo. Este digestor anaerobio es de las formas más simples digestión anaerobia (Jewell, Kabrick *et al.* 1981, citado por BURKE, 2001). Por lo tanto, es el menos costoso (Jewell, Dell-Orto-Orto *et al*. 1981, citados por BURKE, 2001). El digestor puede ser horizontal o vertical. El material entra por un lado y sale una proporción por el otro lado. Puesto que las bacterias no se conservan, una porción se debe convertir en las bacterias nuevas, que se pierden posteriormente con el efluente. Puesto que es un sistema basado en crecimiento, siendo menos eficiente. Siendo esto de un costo considerable. Los reactores son calentados normalmente por un sistema de cañerías agua caliente dentro del reactor (BURKE, 2001 y LAMB, 2002).

GOOCH (2006) indica que generalmente se construyen con una base de concreto y cubiertos por una membrana flexible.

2.8.2.2 Digestores de alta carga. Los digestores de alta carga se clasifican en digestores de mezcla completa y digestores de contacto.

2.8.2.2.1 Digestores de mezcla completa. LAMB (2002) y BURKE (2001) señalan que es lo más común de un digestor anaerobio es que sea de mezcla completa y que se caliente su contenido. El costo de mezclar es alto, especialmente si hay presente arena, y los materiales flotantes.

BURKE (2001) manifiesta que algunos autores describen que el índice de la conversión es tres veces más rápido con los reactores termófilos. Por lo tanto, el TRH puede ser más bajo y la producción del gas mayor. La desventaja del reactor termófilo es la energía requerida para calentar los efluentes fríos de la lechería. Los costos adicionales se incurren en el aislamiento, para evitar pérdidas de calor. El calor necesario no puede llegar a producirse por el gas producido a menos que los sólidos se concentren. La digestión termófila de los efluentes de lechería no puede ser tan diluida, puesto que evita que se produzca la suficiente energía para resolver los requisitos de calor (Ahring, Ibrahim et al. (2001), citado por BURKE, 2001).

GOOCH (2006) aclara que en un principio se parece al sistema de flujo continúo pero al incorporar agitación se clasifica aparte, este puede ser horizontal y vertical. Este último, eleva considerablemente los costos. El digestor flujo continuo es considerablemente más barato en costos constructivos que el de mezcla completa, pero no necesariamente en la suma de los costos**.**

2.8.2.2.2 Digestores de contacto. El reactor de contacto es un proceso que conserva la biomasa bacteriana separando y concentrando los sólidos y volviendo estos al afluente (Ettinger, Witherow et al. 1957; Eckenfelder 1966; Loehr 1974, citados por BURKE, 2001). El reactor de contacto puede tratar residuos diluidos y el separador proporcionar los sólidos concentrados para realzar el proceso. El proceso tiene la ventaja en la eficiencia de convertir materiales que se digieren lentamente tales como

celulosa en un reactor altamente concentrado (Burke (1997), citado por BURKE, 2001).

2.9 Contenidos de sólidos

Según SAMARI (2004), el contenido de sólidos debe ser el siguiente para el tratamiento de desechos:

• Lagunas cubiertas: Sólidos totales: < 3%.

• Sistemas de completo mezclado: Sólidos totales: 3% -10%.

• Sistemas de flujo continúo: Sólidos totales: 11%-13%

El Cuadro 8, muestra una clasificación en base al porcentaje de sólidos.

CUADRO 8 Porcentaje de sólidos para clasificar, los digestores, excreciones, manejo y producción de biogás.

<table>
<tr><th colspan="8">Sólidos Totales (%)</th></tr>
<tr><td></td><td>0</td><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td></tr>
<tr><td>Purín</td><td colspan="3">Agua adicionada</td><td colspan="4">Adición de material de camas</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>Tal cual excretado</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>Clasificación</td><td>Liquido</td><td>Purín</td><td>Semi - Sólido</td><td colspan="4">Sólido</td></tr>
<tr><td>Opciones de manejo</td><td colspan="2">Bombeo</td><td colspan="3">Raspado</td><td>Raspado y montón</td></tr>
<tr><td>Producción de biogás</td><td colspan="3">Recomendado</td><td colspan="4">No recomendado</td></tr>
<tr><td>Tipo de digestor</td><td>Laguna cubierta</td><td>Mezcla completa</td><td>Flujo continuo</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

FUENTE: Adaptado de AGSTAR, (2004) citado por CONTRERAS y VILCHES, 2007.

En el Cuadro 8 se entregan distintos parámetros, pero cada predio presenta una realidad particular y única, la cual debe ser analizada y planteada en un manejo asociado a esta y no un manejo de forma estándar (CONTRERAS y VILCHES, 2007).

CONVERSE (2001), indica que los digestores tienen características según T.R.H. y concentración de sólidos (CUADRO 9).

CUADRO 9 Características de digestores según T.R.H. y concentración de sólidos.

Tipo de digestor	Tiempo de retención Hidráulico (días)	Concentración de sólidos (%)
Mezcla completa (mesófilo o termofiló)	10 – 20	3 - 10
Flujo continuo (mesófilo o termofiló)	20 – 30	11 – 13
Lagunas cubiertas (depende de la estación su temperatura)	Mayor a 60	

FUENTE: Modificado de CONVERSE (2001).

2.10 Alimentación del biodigestor

MONCAYO (2008) señala que la biomasa que va alimentar el biodigestor debe pasar por diferentes tratamientos como, separación de cualquier cuerpo extraño a la biomasa, una mezcla, homogenización y precalentamiento. La alimentación del biodigestor debe ser continua. La masa volátil es la que realmente se transforma en biogás. Está compuesta por materia orgánica, el resto es agua, trazas inorgánicas y otras materias que no generan biogás. La carga orgánica volumétrica (COV), es la cantidad de materia seca con que se alimenta diariamente al digestor por m^3 de volumen de biodigestor (kg/m^3). Valores de 2 – 3 $kg/MS/m^3$ de digestor por día es recomendable.

2.11 Degradación de la biomasa.

MONCAYO (2008) destaca porcentajes de degradación de biomasa entre un 35 a 75 % se logran en la práctica, con un promedio de 65 %. La producción de biogás se define por el porcentaje de masa volátil degradada. Cada kg de MV produce 0,25 – 0,4 m^3 de biogás. Una co-digestión con algún cultivo energético eleva la producción de biogás. Es recomendable que a partir de 10 ton/día de estiércol, hacer una planta piloto para determinar la producción de gas.

2.12 Usos del biogás

El biogás puede utilizarse en cualquier equipo diseñado para uso con gas natural.

La Figura 8 muestra los usos del biogás.

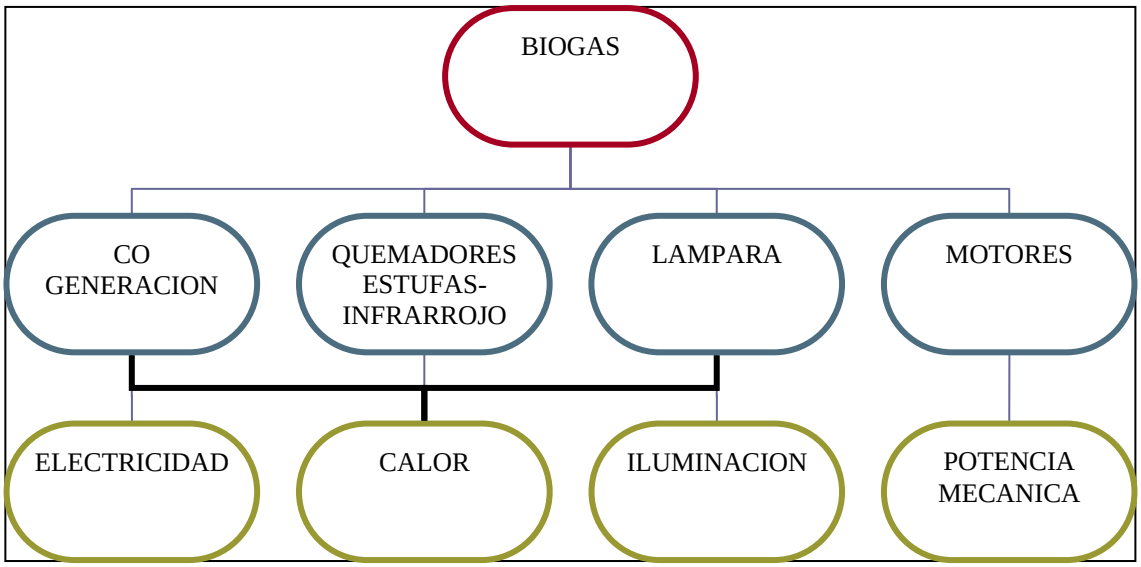


FIGURA 8 Usos del biogás.

FUENTE: Modificado desde http://www.textoscientificos.com/energia/biogas

El siguiente Cuadro 10 muestra los principales artefactos que utilizan biogás a su consumo medio y eficiencia.

CUADRO 10 Artefactos que utilizan biogás.

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 - 600 L/h	50 - 60
Motor a gas	0,5 m^3/kW-h	25 - 30
Quemador de 10 kW	2 m^3/h	80 - 90
Cogenerador	1 kW 0,5 m/KW-h. 2 kW térmica	hasta 90

FUENTE: Modificado de http://www.textoscientificos.com/energia/biogas

MONCAYO (2003) indica que el volumen de biogás del estiércol de ganado es considerable, por ejemplo 100 cabezas de ganado vacuno pueden producir 133 m^3/día y generar 12,04 kW. de potencia. Un metro cúbico de biogás combustionado genera 1.25 kW-h. de electricidad, 6 horas de luz para un bombillo de 60 watt, un refrigerador de 1 m^3 de capacidad puede funcionar durante una hora, una incubadora de 1 m^3 de capacidad durante 30 minutos o un motor de 1 HP durante 2 horas.

VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASÍSTANSE (1980) indica que cualquier motor puede ser adaptado al metano.

Existen varias alternativas en el uso del biogás pero el proyecto se enfoca en el uso combustible para la generación eléctrica, a continuación se justifica en los siguientes puntos (ALIANZA EN ENERGIA Y AMBIENTE CON CENTROAMÉRICA, AEA, 2006):

a) El biogás reemplaza los costos del uso de energía producida fuera de la explotación (electricidad).

b) Los requerimientos energéticos variarán diaria y temporalmente. La iluminación se utiliza en la noche; el ordeño dos veces al día; preparación de raciones alimenticias para el ganado, un sin fin de actividades que dependen del uso de esta energía.

c) Lo más rentable es usar el biogás a medida que se produce, ya que el almacenaje más allá de 12 horas es costoso. Usos directos como calefacción y refrigeración varían y no son rentables a largo plazo, pero se pueden considerar.

d) La electricidad es una energía “de primera necesidad”, ya que el uso de bombas eléctricas, ventiladores, motores, compresores, iluminación están en uso durante todo el año, por ende la producción de electricidad es la opción más viable.

e) El mantenimiento del motor de generación eléctrica, debe considerar la disponibilidad de partes y servicios.

HILBERT (2004) indica que los motores a biogás se aplican usualmente en el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural, y para activar generadores de electricidad.

La sustitución de combustibles fósiles, para la combustión interna en motores para la generación de electricidad se logra en un 100%, para motores que utilizan gasolina, pero para los diesel se logra como máximo un 80% debido al bajo poder de ignición del biogás (Zapata, 1998 citado por QUESADA *et al*, 2007).

2.13 Acondicionamiento del biogás

HILBERT (2004) indica que el biogás que sale está saturado de vapor de agua, al enfriarse se condesa y puede bloquear los conductos con agua. Por ello las cañerías de distribución se instalan con una pendiente mínima del 1% hacia la trampa de agua

donde se almacena y se extrae. Existen trampas de agua tanto manuales como automáticas, estas últimas requieren de un mínimo mantenimiento.

El dióxido de carbono no tiene poder calorífico, su eliminación no es aconsejable, salvo cuando se quiera comprimir el gas. Al combinar el H_2S con el agua da como resultado ácido sulfhídrico que corroe partes vitales de algunas instalaciones. Se hace pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro, para su eliminación, esto hace que se combine con el hierro formando sulfuro de hierro.

2.14 Aspecto sanitario

HILBERT (2004) y LAMB (2002) indican que el tratamiento elimina el problema de la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades. El proceso reduce del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, pseudo-monas). Las malezas se tornan inviables, lo que es importante al utilizarse el efluente como biofertilizante.

2.15 Aspectos a considerar en la construcción de un biodigestor

MONCAYO (2005) indica que en la elección del sitio de ubicación del biodigestor se deben considerar los siguientes factores:

a) Debe estar cerca del lugar donde se consumirá el gas, por costos de tuberías y las presiones obtenibles.

b) Se debe encontrar cerca del lugar donde se recogen los desperdicios para evitar el acarreo.

c) En un lugar cercano al de almacenamiento o uso del efluente y con pendiente adecuada.

d) Protegido de los vientos fríos y tratando de que reciba el máximo de energía solar.

En la elección del tipo de digestor, se debe tomar en cuenta:

a) La inversión.

b) La energía que se quiere obtener.

c) Los materiales (sustrato-biomasa).

d) El tamaño del digestor.

e) Las características del lugar.

f) La simplicidad que se quiere lograr en el manejo.

g) Los usos del efluente del biodigestor.

h) Las temperaturas medias del lugar donde se instalará.

2.16 Legislación aplicable a las empresas ganaderas

La acumulación y disposición de desechos de las explotaciones agrícolas, pueden provocar daños a los suelos o los cursos superficiales y subterráneos, pero no existe una normativa en particular que señale a los purines. Estas son las principales normas y decretos relacionados con esta actividad.

• Decreto Ley Nº 3.557 de 1980 del Ministerio de Agricultura, que establece disposiciones sobre Protección del Suelo, Agua y Aire.

• D.F.L. N° 725 de 1967 del Ministerio de Salud, Código Sanitario. Diario Oficial, 31.01.1968. Artículos 71, 72, 73 y 75.

• Norma Chilena Oficial NCh.1.333, Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos.

• Decreto Supremo Nº 351 de 1992 del Ministerio de Obras Públicas. Diario Oficial, 17.02.1998. “Reglamento para la Neutralización y Depuración de los Residuos Líquidos Industriales a que se refiere la Ley Nº 3.133”. Modificado por el Decreto Supremo Nº 1.172/98.

• Decreto con fuerza de ley Nº294. Establece funciones y estructuras del ministerio de agricultura. Ministerio de hacienda. Diario Oficial del 5 de abril de 1960.

• Decreto Supremo N° 90/01. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Se debe tener especial cuidado en el destino de las descargas del agua tratada, la cual solo puede ser depositada a los cursos superficiales cercanos con concentraciones inferiores a las que establece la norma.

• Norma NCh 1.333/Of. 87. Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos.

Esta norma es directamente aplicable a todos los predios.

• D.S. 46/2002. Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. Esta norma, en el artículo 2 establece que no es aplicable a las labores de riego, se debe cuidar el rebalse de los sistemas de tratamiento o almacenamiento, y todo tipo de escurrimiento superficial que pueda ser potencial contaminante de los cursos superficiales.

• Decreto Supremo Nº 745/92, art. 16. Prohibición de Descarga de Residuos en Cursos de Agua. Esta prohibición de descarga de residuos en cursos de agua, esta contenida en uno de los principales decretos que deben ser considerados y evaluados.

• Ley 19.300 "Bases Generales del Medio Ambiente". Ministerio Secretaría

General de la Presidencia. Diario Oficial, 09.04.94. La Ley de Bases del medio ambiente reconoce el derecho de las personas de vivir en un ambiente libre de contaminación, por lo que cualquier tipo de empresa debe respetar el derecho de las personas, incluyendo las pequeñas y medianas empresas, evitando la contaminación y degradación del medio ambiente.

• Decreto Supremo Nº 30 de 1997 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

2.17 Evaluación económica

La evaluación económica se realiza para determinar la factibilidad del proyecto, en base a las características de mercado, para lo cual se comparan los beneficios asociados a la decisión de inversión con su flujo proyectado de desembolsos (SAPAG y SAPAG, 2003). Para lo anteriormente descrito se utilizan los indicadores económicos como el VABN, TIR, PE y periodo de recuperación de capital (ANEXO 8).

3. MATERIAL Y METODOS

3.1 Material

Para la realización del presente estudio, se recolectó información existente. Como se indica a continuación.

3.1.1 Fuentes de información. En este trabajo se recopilaron y utilizaron las siguientes publicaciones y fuentes de información:

La información bibliográfica se basó en los estudios de reactores anaeróbicos para explotaciones ganaderas, y temas vinculados con la formulación del proyecto. Utilizando para ello, la biblioteca de la Universidad Austral de Chile, publicaciones del Grupo Aqualimpia Consultores, empresa alemana especializada en el tema, haciendo además uso de la bases de datos de diferentes Universidades en el mundo. También se utilizó como respaldo la información de Internet.

La información personal utilizada fue obtenida mediante la comunicación directa con profesores de la Universidad Austral de Chile, profesionales del Grupo Aqualimpia Consultores, Sistemas y técnicas medioambientales y de seguridad, Piscineria S.A., y diversos profesionales en procesos industriales, ingenieros comerciales, ingenieros civiles, agricultores y personas con experiencia relacionada en el tema principal.

3.1.2 Plan de inversiones. Se basó en información recopilada de estudios especializados en la producción de biogás, y de los valores específicos arrojados en el estudio técnico. Con estos antecedentes se estableció un nivel de inversión respecto a la escala de producción estimada para los diferentes escenarios.

3.2 Método

El uso de la información base, permitió formular la implementación técnica-económica de un reactor anaeróbico, que tiene como principal objetivo, la producción de biogás, a partir de las condiciones existentes de una lechería tipo de la Décima Región de Los Lagos.

3.3 Diseño de la investigación. Según lo descrito por Hernández *et al.* (1998) citado por CONTRERAS (2004), la investigación se basa en un diseño “no experimental”. Al no manipular variables deliberadamente, se trata de observar fenómenos tal y como se presenta en su contexto natural para luego ser analizados. En este caso, se evalúa la información disponible actualmente, para formular la factibilidad de diseñar e implementar técnica-económicamente, una unidad de digestión anaeróbica en una lechería tipo (ver punto 4.1).

3.4 Estudio técnico

Este considera los estudios del lugar, cálculos para cuantificar la producción de estiércol y orina, carga al sistema, tiempo de retención, dimensionamiento del estanque de alimentación y biodigestor, elección de materiales y maquinarias, entre otros que se detallan más adelante.

3.4.1 Ubicación de la Unidad. Los datos climáticos y económicos se recopilaron en la ciudad de Puerto Montt, Región de Los Lagos. Lugar que teóricamente se construirá el biodigestor.

3.4.2 Características climáticas. Según la Dirección Meteorológica de Chile (2008) indica que en Puerto Montt existe un clima templado lluvioso, con influencia marítima.

La temperatura media anual es de 8ºC, con un valor medio mensual máximo de 15ºC en el mes de febrero y una media mínima mensual de 7ºC en el mes de julio.

Las precipitaciones presentan un promedio anual de 1800 mm. aproximadamente.

En los meses de invierno, la humedad relativa es en promedio de un 90%. Pero no baja del 75%.

3.5 Diseño propuesto

El sistema propuesto plantea el uso de un biodigestor de mezcla completa a temperatura mesófila. En términos generales, éste es uno de los modelos más utilizados en el mundo, para los sistemas ganaderos lecheros (MONCAYO, 2008; HILBERT, 2004 y WILKIE, 2003).

3.6 Estudio financiero

Se considera la cotización para la construcción, instalación, montaje y equipos que se deben adquirir. El proyecto tiene una vida útil de 20 años, con una amortización de los valores a un 10% anual.

3.6.1 Determinación de los costos

La determinación de costos son desembolsos tanto para materiales como humanos para el desarrollo de la actividad del proyecto. Se clasificaron en dos grupos:

a.- Costos Fijos: Son aquellos costos que no variaron en ningún nivel de producción y ventas. Por ejemplo: remuneraciones, agitación, diesel y calefacción (ver anexo 6).

b. - Costos Variables: Son aquellos costos que dependieron en forma directa de los niveles de producción que se estimo en un 5% de los ingresos. Por ejemplo: lubricantes, mantención y reparaciones (ver anexo 6).

3.6.2 Determinación de los ingresos

La determinación de ingresos proviene de la valorización económica de electricidad, fertilizante y bonos de carbono.

Se analizó la auto-sustentabilidad del biodigestor con su requerimiento de calor y energía para lo cual se evaluó el uso de una caldera alimentada con electricidad.

El biogás producido se estimo a partir de la cantidad de purines, y este gas alimentará un motor generador de electricidad (ver anexo 1).

Una vez digeridos los purines en los biodigestores, se estimo su valor fertilizante en su equivalencia a los comerciales, para lo cual se consideran tres elementos nitrógeno, fosforo y potasio (ver anexo 1).

Y además se estimo la cantidad de CO_2 reducido debido a la producción de biogás, entendiendo que el metano equivale a 21 veces al anhídrido carbónico en su valor contaminante, mediante los bonos de carbono (ver anexo 1).

3.7 Evaluación económica proyecto

Una vez calculados los resultados de ingresos y costos del proyecto, se realiza la evaluación financiera, para determinar cuatro índices económicos que son: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), punto de equilibrio (PE) y periodo de recuperación del capital (PRC), para tres escenarios:

- Normal, corresponde a un 65% de metano en el biogás.
- Optimista, una producción de metano mayor a 10 % de lo normal.
- Pesimista, una producción de metano menor a 10 % de lo normal.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Lechería tipo

Se necesita definir una lechería tipo para el proyecto, y para ello se utilizan los siguientes requisitos básicos; tener una lechería en proceso productivo de 100 vacas estabuladas, las excretas de la sala de ordeña y patio de alimentación son mezcladas con agua (purines) para facilitar su retiro, por medio de raspadores (manuales y/o mecánicos), guiándolas a rejillas donde caen a un canal de hormigón, el cual posee una pequeña pendiente que conduce directamente al estanque de alimentación del sistema.

Se recomienda que los animales enfermos que estén bajo algún tratamiento médico, con la suministración de algún medicamento o específicamente un antibiótico, sean aislados inmediatamente, para evitar que afecte el funcionamiento del digestor, ya que esto produce mortalidad de bacterias.

La lechería tipo es de 100 vacas, por que corresponde a una lechería mediana, según lo descrito por SALAZAR *et al*. (2003) quien define a las lecherías de 100 a 300 vacas de ordeño, dentro de esta categoría.

4.2 Consideraciones generales para la unidad

El proyecto en estudio debe considerar lo siguiente:

1. Utilizar el biogás para producir energía eléctrica.
2. Ser una unidad de tratamiento de los purines de la lechería tipo.
3. Utilizar los efluentes para fertilizar las praderas o cultivos.
4. Vender los bonos de carbonos en bancos extranjeros.

Además, los siguientes sistemas que se presentan a continuación son básicos para formular la implementación técnica-económica de un reactor anaeróbico (MONCAYO, 2008).

- Sistema de alimentación.
- Estanque de descarga al digestor.
- Cámaras de digestión.
- Conducción de fluidos.
- Sistema de descarga de bioabono.
- Captación y conducción de biogás.
- Sistema de reducción de Sulfuro de hidrógeno (H_2S) y vapor de agua.
- Sistema de agitación.
- Sistema de calefacción.
- Unidad de generación de energía eléctrica.

Los materiales a considerar, deben estar disponibles en el mercado nacional, evitando importaciones, además se recomienda que sean resistentes a la corrosión y posean propiedades de aislamiento térmico.

4.3 Consideraciones generales en la construcción y selección de materiales para el biodigestor

Para el presente estudio, el biodigestor se considera que se construya bajo tierra y como material de construcción se utilice hormigón, para el acopio de biogás se utilice una cúpula llamada geomembrana de polietileno de alta resistencia (HDPE).

La losa, las paredes, la instalación de la geomembrana, cruce de tuberías, para biomasa y biogás, del biodigestor no debe presentar filtraciones o fugas.

La construcción debe estar protegida de vientos y aprovechar el sol, pero sin perjudicar a la geomembrana por insolación. La fuente de producción de biomasa debe estar lo más cerca de la construcción.

4.4 Especificaciones del sistema

A continuación se presentan especificaciones que se consideran tanto para la construcción, funcionamiento y supuestos del sistema.

La Figura 9, muestra el diseño propuesto y sus componentes.

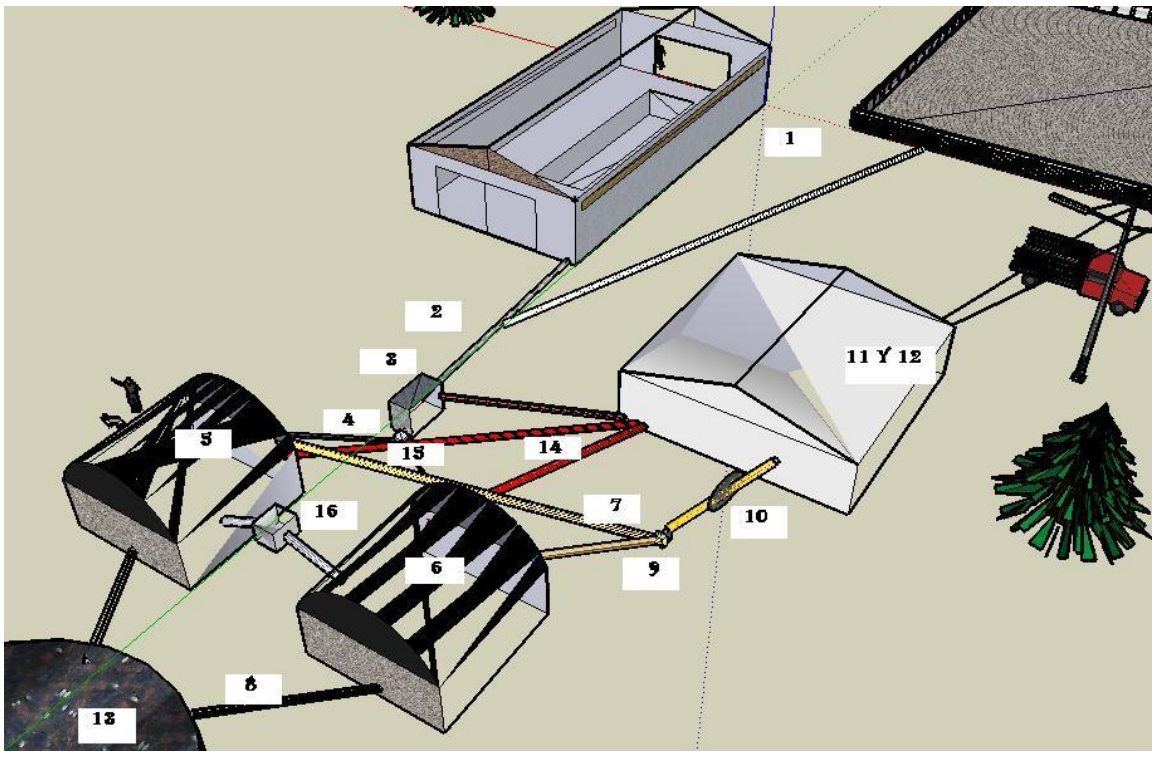


FIGURA 9 Componentes del diseño.

Detalle del diseño de la Figura 9:

1. Lechería y patio de alimentación.
2. Conducto al tanque de alimentación.
3. Tanque de alimentación.
4. Ductos de alimentación a los Digestores.
5. y 6. Digestores.
7. Tubos de biogás.
8. Tubos de descarga al pozo.
9. Trampa de agua.
10. Trampa de sulfuro de hidrógeno.
11. Motor generador de electricidad.
12. Caldera del sistema de calefacción.
13. Pozo de descarga.
14. Tubos de conducción de calor.
15. Bomba de transporte de purines.
16. Bomba de agitación.

4.4.1 Tanque de alimentación. Aquí se concentra el acopio de los purines conducidos desde la lechería y el patio de alimentación. Su función principal, es efectuar el primer tratamiento, que consiste en agitar y calentar la mezcla.

Para la construcción del tanque se considera como material, el hormigón en la base y en las paredes. Se recomienda una tapa sobrepuesta y también, que el tanque se construya sobre la tierra, para evitar pérdidas de calor. Las paredes se protegen con el excedente de tierra. En el interior, del tanque, se utiliza un estuco térmico (ver

ANEXO 21), y pintura anticorrosivo (ver ANEXO 14), el biogás que se puede alcanzar a generar es insignificante para el proyecto y de muy baja calidad.

Para mantener el requerimiento de sólidos totales de un 10%, se estima un contenido de materia seca del estiércol de un 20%, lo que en conjunto a la orina colectada se obtiene una pequeña dilución. Es por ello que la dilución debe ser controlada, aforando el agua utilizada para la limpieza, en la lechería y patio de alimentación. De ser necesario, se agregará agua para la dilución en el tanque.

Se diseña con una alimentación al digestor cada seis horas, para que el volumen de entrada al digestor sea menor. Además, estas horas son muy importantes porque permiten calentar y agitar la mezcla lo suficiente para evitar problemas en el funcionamiento de los digestores. Se consideró una forma rectangular, con una profundidad no mayor a 1,5 metros, y con una relación largo y ancho de 2:1. El procedimiento de cálculo se explica en el ANEXO 1 punto 15. Como medidas de seguridad, se necesita un borde libre de 0,5 metros como factor de seguridad, y una capacidad 3 veces mayor a la calculada, para dar tiempo necesario para realizar cualquier reparación al sistema en general.

4.4.2 Digestor. Se considera que el digestor sea de forma rectangular, debido a la limitante del ancho causada por la geomembrana que se utiliza como cúpula, ya que el proveedor entrega un ancho máximo, y se debe evitar el uso de la termofusión que aumenta los costos.

Como material de construcción se utiliza hormigón armado y para el aislamiento térmico y acústico, se recomienda un estuco especial con 2,5 cm de espesor al interior del digestor, además de aplicar una pintura anticorrosiva para proteger las tuberías y el hormigón.

La profundidad considerada no debe ser mayor a 3 metros, para evitar napas y problemas en el movimiento de tierra por la excavadora, el procedimiento de cálculo se explica en el ANEXO 1 punto 16.

Se diseña que la alimentación del digestor sea realizada por intermedio de una bomba de transporte de desechos y conductos de PVC.

Se debe calefaccionar y agitar para evitar que se generen puntos “muertos” por la inmovilidad de las bacterias en el contenido de los digestores, se consideran los mismos principios descritos en el tanque de alimentación.

4.4.3 Pozo de descarga. Se recomienda que sea un pozo purinero, construido para almacenar los efluentes digeridos de ambos biodigestores, para ello se considera, el principio de vasos comunicantes. El llamado bioabono, evita la contaminación asociada a los purines, lo que permite su utilización en forma inmediata, si se requiere.

4.4.4 Tuberías de biogás. Se diseña con una tubería de acero inoxidable para la captación, el diámetro mínimo de la tubería es de 50 mm. y la velocidad máxima de flujo, debe ser <= 3,5 m/s (MONCAYO, 2008).

Para evitar los elevados costos del uso de tuberías de acero, es recomendable utilizarla solo para la captación del biogás (ver ANEXO 15) y una vez que la tubería se encuentra en el exterior del digestor se acopla a una tubería de PVC.

Para el control de la presión, flujo y temperatura, se recomienda: un manómetro, un sensor de temperatura, un sensor de caudal y válvulas de bola. Como el motor generador utiliza como combustible el biogás, se debe evitar fluctuaciones de esté, producto de sifones, y puntos bajos o puntos con pendientes en sentido contrario en la tubería de biogás (ver ANEXOS 18, 19 y 20).

4.4.5 Trampa de agua. Se recomienda que sea un recipiente hermético que permita que el agua de las tuberías caiga en su interior (ver ANEXO 15), ya que el biogás contiene una humedad del 100%. Las tuberías deben tener una pendiente de 0.5%, para que el biogás pase por esta trampa de agua.

4.4.6 Trampa de Sulfuro de hidrogeno. Esta evita que se produzca la mezcla del gas, con el agua en el motor, ya que se genera un acido altamente corrosivo.

Una alternativa eficaz y de bajo costo; es la utilización de esponjas o alambrinas de hierro, que tienen una duración aproximada de dos meses en el sistema, el uso de quince alambrinas, es suficiente para evitar la mezcla. Un visor de plástico, permite determinar el estado del filtro (HILBERT, 2004).

4.4.7 Geomembrana de polietileno de alta resistencia (HDPE). Se considera como cúpula para el almacenamiento del gas producido, está posee una elasticidad aproximadamente 700 veces, permitiendo tener un gran margen de seguridad (ver ANEXO 12).

La unión de la geomembrana y las paredes del biodigestor, se realiza con platinas de fierro y pernos, y como control de posibles fugas de biogás se utiliza agua en su exterior (ver ANEXO 16), este método recomendado por MONCAYO, 2008.

Las geomembranas de polietileno están específicamente diseñadas para condiciones expuestas. Tienen una aplicación generalizada en agricultura, construcción y minería.

4.4.8 Sistema de calefacción. Para este sistema se recomienda, una caldera para el tanque de alimentación y para los digestores una de 9030 kCal/h (ver ANEXO 3 y 4), para su funcionamiento se utiliza parte de la electricidad producida por el motor

generador.

El recirculador de agua permite controlar la temperatura y presión del agua que circula por las cañerías de polipropileno para el sistema de calefacción, según lo descrito por DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) (1999a) ver ANEXO 17, donde se observa la distribución de las cañerías.

4.4.9 Sistema de agitación. Este sistema se diseña una bomba hidráulica (ver ANEXO 2) para mezclar, homogenizar y facilitar la transferencia de calor. Es fundamental que la bomba hidráulica se instale en una posición central para que pueda agitar todo el contenido (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ), 1999a).

Se recomienda utilizar, una bomba para ambos digestores, alternando su uso. Se recomienda la utilización de una bomba de transporte de desechos para la agitación en el tanque de alimentación, que también sirve para triturar y facilitar la posterior digestión de los purines.

La Figura 10 muestra el flujo de la materia prima con sus transformaciones y condicionantes anteriormente indicadas.

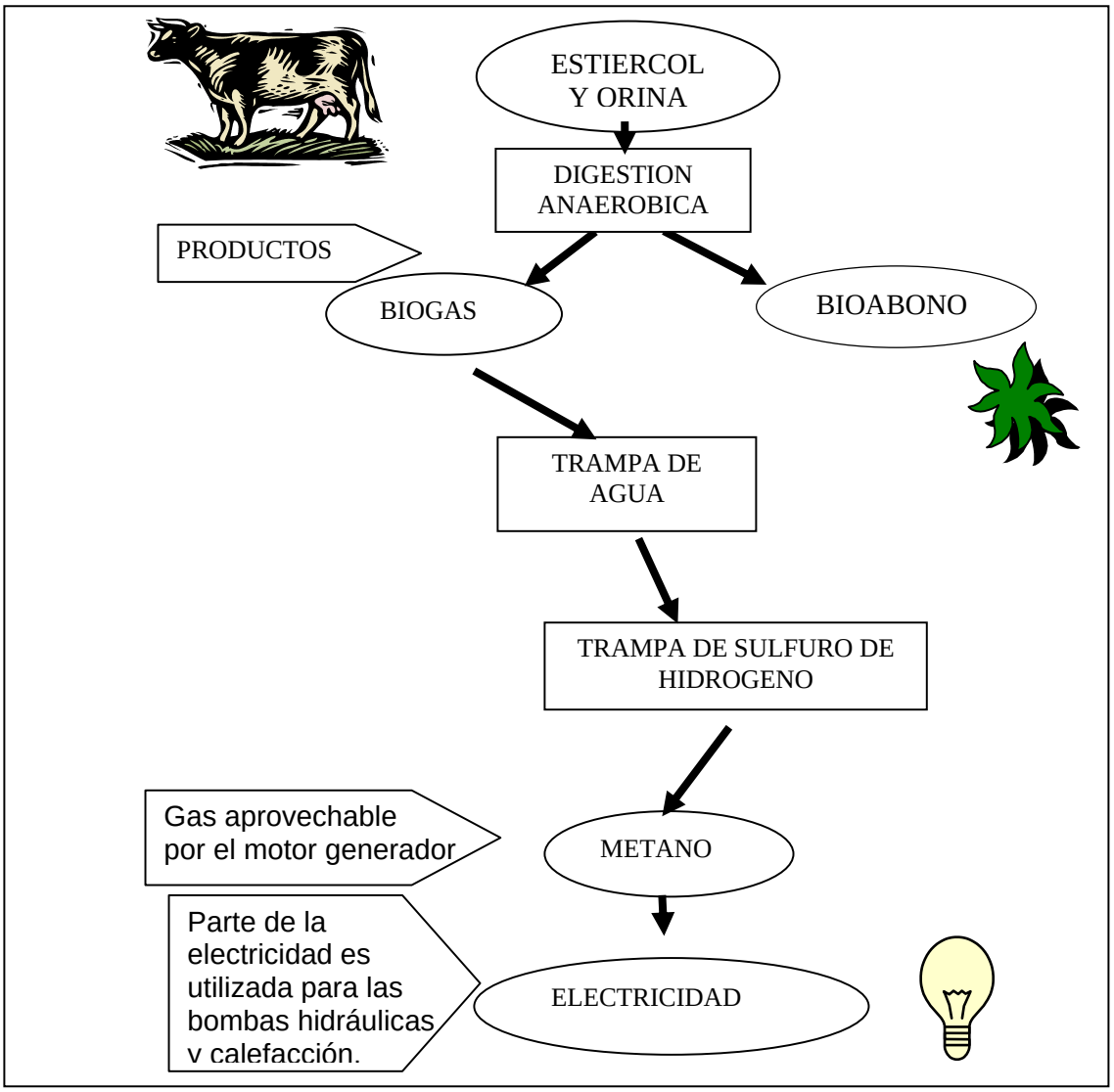


FIGURA 10 Transformación de la materia prima y condiciones del diseño propuesto.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

4.5 Datos básicos para la unidad de digestión anaeróbica, para la evaluación técnica

A continuación se presentan los datos básicos para el cálculo de la unidad productora de biogás, estos valores se acotaron de varias publicaciones citadas en la referencia bibliográfica referentes a Lecherías de la Décima Región de Los Lagos.

CUADRO 11 Parámetros básicos para los cálculos.

PARAMETROS	Valor	Unidad
Peso vivo (SALAZAR, *et al*. 2003 y ALAMOS, 2004)	550	kg
Producción excretas (SALAZAR, *et al*., 2003)	50	kg/día
Materia seca (ALAMOS, 2004)	20	% ST
Materia volátil (ALAMOS, 2004)	70	% MS
Número de animales (DATO PROYECTO)	100	U.A.
Peso Especifico purín (GONZALEZ y SANDOVAL, 2005)	1026	kg/m^3
Producción biogás (MONCAYO, 2008)	0,35	$m^3/kgMV$
Metano en biogás (GTZ, 1999a).	65	%
Temperatura digestor (HILBERT, 2004)	35	ºC
Eficiencia motor generador (MONCAYO, 2008)	45	%
Equivalente calórico del biogás (GTZ, 1999b)	6	$kW\text{-}h/m^3$
Ancho geomembrana (PLASTECNIA S.A.)	7,01	m
Largo geomembrana (PLASTECNIA S.A.)	310	m
Número de digestores (DATO PROYECTO)	2	
Espesor hormigón (DATO PROYECTO)	0,15	m
Demanda Química de Oxigeno DQO (GONZALEZ y SANDOVAL, 2005)	0,092	kg/L
Porcentaje de remoción DQO en el digestor (GONZALEZ y SANDOVAL, 2005)	60	%

Las precipitaciones de la zona tienen gran influencia en el almacenaje de purines, provocando una exageración en el volumen por dilución producida, es por ello que se toma la decisión en el presente estudio, de considerar solo la excreción de las vacas más una dilución controlada por aforo.

4.6 Flujos generados de la lechería para la carga del sistema

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de los datos básicos del Cuadro 11. En el ANEXO 1 en los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, se encuentran las funciones de cálculo para la obtención de los resultados que se indican en el Cuadro 12.

CUADRO 12 Parámetros y cantidad de flujos generados para la carga.

PARAMETRO	Valor	Unidad
Estiércol	6,36	% Peso Vivo
	3.500	kg/día
Orina	2,73	% Peso Vivo
	1.500	kg/día
Materia Prima para Carga	5.130	kg/día
Sólidos Totales en %	13,65	% Sólidos Totales
Sólidos Totales en kg/día	700	kg/día
Volumen de agua para la mezcla	1.870	L/día
Carga	7.000	kg/día
Tiempo de retención	25	días
Carga orgánica volumétrica	2,1	Kg/MS/m^3

Para el cálculo de la cantidad de estiércol y orina, se considero un porcentaje de cada uno de ellos en el total de las excretas, generalmente la relación es de 70% y 30%, y posteriormente se relacionó con el porcentaje de peso vivo, para obtener la cantidad en kilogramos al día.

Debido a que el porcentaje de materia seca de las excretas es de 13,65%, este dato se acerca al requerimiento básico del digestor que es el 10%, gracias a la orina, siendo usualmente insuficiente por lo cual se debe diluir. Este planteamiento coincide con lo descrito por la UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (2006).

HILBERT (2004) y MONCAYO (2008) coinciden en que para este tipo de biodigestor presentado se requiere de tiempos de retención de 25 días, número de días exactamente igual al calculado en el proyecto.

Según MONCAYO (2008) la carga orgánica volumétrica debe encontrarse entre valores de 2 a 3 kg MS/m^3, para el proyecto es de 2.1 kg MS/m^3. Este dato permite predecir un correcto funcionamiento del digestor para que la materia orgánica descargada en el efluente, se degrada correctamente.

Los datos obtenidos de las funciones de cálculo, para llegar al resultado de materia prima para la carga y la carga, coinciden proporcionalmente a los obtenidos utilizando el Software “Biogás 2005 – Versión 6” de HILBERT.

4.7 Volúmenes necesarios para el dimensionamiento del sistema

En el Cuadro 13 se presentan los volúmenes del tanque de alimentación, el volumen total del digestor y el pozo de descarga obteniéndose de las funciones de cálculo como se indica en el ANEXO 1 puntos 9 y 10.

CUADRO 13 Volúmenes del tanque de alimentación, digestor y pozo de descarga.

VOLUMEN	Valor	Unidad
Tanque de alimentación	3,5	m^3
Digestor	206	m^3
Pozo descarga	206	m^3

En el Cuadro 13, se deduce que se manejan grandes cantidades de material a nivel predial. Es por ello que es muy importante que se realice un estudio acabado de la construcción del sistema. Además estos datos coinciden proporcionalmente a los obtenidos utilizando el Software “Biogás 2005 – Versión 6” de HILBERT.

Para el cálculo de las dimensiones (Cuadro 14) los datos se obtuvieron a partir de los volúmenes del Cuadro 12.

CUADRO 14 Dimensiones del tanque de alimentación y digestor.

Dimensiones	Valor	unidad
Tanque de Alimentación		
Ancho	1,08	m
Largo	2,16	m
Profundidad	1,5	m
Digestor		
Ancho	6,50	m
Largo	6,36	m
Profundidad	2,50	m

Las dimensiones presentadas corresponden a un biodigestor, pero cabe destacar que las dimensiones de la geomembrana condicionan el ancho de la unidad, y

para la profundidad del digestor se utiliza el supuesto que existen problemas con napas freáticas altas. Por ello, se decide construir dos biodigestores, esto también presenta ventajas al existir algún problema en uno de los digestores, no se paralizaría toda la unidad. Se evita que se produzcan problemas constructivos mayores, permitiendo manejar de mejor forma los volúmenes y obtener una mejor eficiencia del sistema. En los ANEXOS 15 y 16, muestran los detalles importantes para el modelo, como por ejemplo para el tubo de captación de biogás. Este pasa por el hormigón evitando así una perforación en la geomembrana.

En el Cuadro 15 se presenta la cantidad de hormigón necesario, utilizando 0,15 m de espesor para el tanque de alimentación y los digestores. Se considera los 0,5 metros de borde libre de seguridad y el uso de estuco un estuco térmico.

CUADRO 15 Cantidad de Hormigón y estuco térmico.

Parámetro	Valor	Unidad
Digestores	35,53	m^3
Tanque de alimentación	2,29	m^3
Estuco	4,16	m^3

Debido a la gran cantidad de hormigón que se utiliza en la construcción del tanque y los digestores, esta labor debe ser rigurosa para evitar que se produzcan grietas, y fisuras, ya que se vería directamente afectada la vida útil y funcionalidad del sistema. Además los mayores costos del proyecto en estudio, corresponden al hormigón y motor generador de electricidad, y de ahí su importancia en la elección de ellos.

Es de suma importancia el estuco ya que debido a sus características aislantes producirá un ahorro de energía calórica, ya que generalmente se destinan aproximadamente un 30% en gastos según el Software “Biogás 2005 – Versión 6” de HILBERT.

Solo para los digestores se considera un enfierrado, para evitar así problemas de fisuras por las fuerzas generadas por el material. Es por esto, que las paredes utilizan fierros de 6 mm de diámetro y la base utiliza fierros de 8 mm de diámetro (ANEXO 1, en el punto 18).

4.8 Producción de Biogás

Para el cálculo de producción de biogás se utilizaron los siguientes resultados de las ecuaciones que se encuentran en el ANEXO 1, en los puntos 11, 12, 13 y 14.

CUADRO 16 Estimación de la producción de Biogás.

Parámetro	Valor	Unidad
Flujo másico	7.182	kg/día
DQOe	0,644	m^3/día
DQOr	0,3864	m^3/día
DQOs	0,2576	m^3/día
Producción de biogás	135,24	m^3/día
Producción de metano	87,91	m^3/día
Nota: DQOe, DQOr y DQOs corresponden a la entrada, remoción y salida de DQO.		

Se recomienda que para el cálculo de producción de biogás, se haga por medio del flujo masico ya que este indica los kilogramos de sustrato (kg DQO/d), que finalmente se transforman a biogás.

Para la función de cálculo del flujo másico, se utiliza el peso específico del purín que corresponde 1.026 kg/m^3 según como lo indica GONZALEZ y SANDOVAL (2005).

Para la función de cálculo de la DQOe, se utiliza un 60% de remoción según GONZALEZ y SANDOVAL (2005).

Estos valores coinciden en proporción a los resultados obtenidos utilizando el Software “Biogás 2005 – Versión 6” de HILBERT y lo descrito por MONCAYO (2003).

4.9 Producción de electricidad

El metano es el componente del biogás, que se utiliza como combustible para alimentar al generador. Ver el ANEXO 1, en el punto 17.

Cabe señalar que para que pueda funcionar normalmente el motor generador se necesita un 10% de diesel. La eficiencia del motor generador es de un 45% aproximadamente. La producción diaria de electricidad coincide proporcionalmente a los cálculos hechos por la ALIANZA EN ENERGIA Y AMBIENTE CON CENTROAMÉRICA (2006).

El Cuadro 17 muestra la producción de electricidad.

CUADRO 17 Producción de electricidad.

Parámetro	Valor	Unidad
Producción de electricidad total del Sistema	438,18	kW-h/día
	179.343,94	kW-h/año

Estos valores coinciden en proporción a los resultados obtenidos utilizando el Software “Biogás 2005 – Versión 6” de HILBERT y lo descrito por MONCAYO (2003).

Para el sistema de calefacción se considera que la caldera y el recirculador son

alimentados con electricidad producida por el sistema (ver ANEXO 3).

Además se considera una bomba hidráulica de 0,5 HP, que será accionada cuatro veces al día, por una hora, siendo alimentada por la electricidad generada del sistema (ver ANEXO 2).

4.10 Valorización económica de los efluentes del sistema

Los efluentes del sistema tienen un valor fertilizante y también económico, para ello solo se consideran elementos como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio.

La elección de los fertilizantes comerciales son al azar, para obtener el valor total en pesos entregados de los nutrientes en su equivalencia con fertilizantes químicos, se le debe aplicar la remoción de los nutrientes Nitrógeno (62% de remoción), Fósforo (50% de remoción), Potasio (10% de remoción) y Magnesio (60% de remoción) según GONZALEZ y SANDOVAL (2005).

Con el supuesto que el nitrógeno y los otros elementos quedan disponibles en forma inmediata, y no sufren un proceso de mineralización, el Cuadro 18, muestra el valor equivalente en fertilizantes químicos comerciales, y la remoción producida en el digestor (ver ANEXO 1, en el punto 20).

CUADRO 18 Ingresos por unidad orgánica antes y después de la remoción.

Fertilizante Comercial	VALOR UNIDAD (kg)	REMOCION (%)	TOTAL VALOR UNIDAD (kg)
Nitromag	1.518,5	62	941,5
Super Fosfato Triple	1.358,7	50	679,3
Muriato de K	1,050	10	105,0
Oxido de Magnesio	376,5	60	225,9

Para la valorización económica de los efluentes del sistema, se utilizó el supuesto que la dilución es 1:1, entre las excretas y agua de dilución. Una vaca produce 100 litros (excretas y agua de dilución).

El ingreso neto total por efluentes es de $12.907.989 (ANEXO 1 punto 20), en su equivalencia a fertilizantes químicos, siendo un gran aporte al predio para destinar estos fondos a otras actividades que produzcan mayor beneficio económico.

4.11 Bonos de carbono

Se puede valorizar el poder descontaminante del sistema por la reducción de gases dañinos a la capa de ozono. Aun cuando no existe una normativa que señale explícitamente el deber de tratar los purines, sin embargo, su acumulación y disposición puede provocar daños medioambientales, infringiendo normas legales, esto provoca que se tenga que construir sistemas de tratamiento.

Para el cálculo de total de CO_2, se considera que el metano equivale a 21 veces el anhídrido carbónico, y que del total del biogás producido un 65% es Metano y 34% anhídrido carbónico, y el 1% restante corresponde a otros gases (ver ANEXO 1, punto 21).

El siguiente cuadro 19 muestra los resultados de la función de cálculo para los diferentes escenarios y resultado económico.

CUADRO 19 Cantidad de CO_2 para los tres escenarios.

ESCENARIO	CANTIDAD DE CO_2 (ton/día)
Normal	3,027
Optimista	3,459
Pesimista	2,594

El aporte monetario no es despreciable, ya que para los proyectos de esta naturaleza se desconoce este tipo de entrada, siendo para el escenario normal de $4.184.818, para el escenario optimista es de $4.783.077 y para el escenario pesimista $3.586.560.

4.12 Evaluación económica del sistema

Para la evaluación se realiza un flujo de caja, cuadro de fuentes y usos de fondos, con ello se utilizan los indicadores económicos como el valor actual neto, tasa interna de retorno, punto de equilibrio y periodo de recuperación de capital.

La inversión inicial, compone de ítemes como movimiento de tierra, estructuras, tuberías y accesorios, equipamiento mecánico, y edificaciones (ver ANEXO 5).

Para los costos de equipamiento se considera ítemes como costos notariales, contrato, y otros relacionados (ver ANEXO 6).

Costos nominales (ANEXO 6), considera los supuestos como; el diseño del proyecto equivale al 4% del costo de inversión, el estudio topográfico que corresponde al 1% del costo de movimiento de tierra y estructuras, los servicios de construcción corresponden al 1% del costo de inversión y la asesoría corresponde al 25% del movimiento de tierras, estructuras, tuberías y accesorios. El capital de trabajo considera cinco obreros para la mano de obra e instalación trabajando por 2 meses.

Los costos propios de la ejecución del proyecto y otros costos relacionados (ANEXO 6) fueron determinados en forma anual. Los costos fijos, se incluyen costos como la remuneración del personal permanente, la agitación, diesel y calefacción, siendo este último el de mayor importancia. Cabe señalar que aquí no se ha incluido costos por consumo de agua ya que se asume libre disponibilidad de este recurso. El costo nominal, construcción, y equipamiento solo ocurren el primer año. Los demás costos se mantienen relativamente constantes durante el periodo de evaluación del

proyecto, incluso aquellos considerados como costos variables, pues el volumen de producción contemplado no se modifica.

Además se recomienda que se mantenga una asesoría constante de especialistas en aquellos temas que interesen para aumentar la eficiencia del digestor. Dado que la operación y manutención de este tipo de estructuras requieren de mucha atención y experiencia.

Para calcular la depreciación, se considera en general un sistema de 20 años, pero el equipo generador de electricidad tiene una vida útil de 10 años, lo que implica comprarlo nuevamente.

Los ingresos comprenden tres flujos de entrada que son la producción neta de la electricidad, la producción de bioabono en su equivalencia con fertilizantes químicos y los bonos de carbono (ver Anexo 1 puntos 17, 20 y 21).

Para el cálculo de los ingresos provenientes de la producción de electricidad, se utiliza la producción de biogás y específicamente el metano ya que es este quien alimenta al motor generador para generar electricidad que es valorizada monetariamente.

Para el cálculo de ingresos provenientes de la producción de bioabono en su equivalencia con fertilizantes químicos comerciales, se valoriza monetariamente el bioabono que se ha generado después de la digestión.

Los bonos de carbono, se calcularon monetariamente usando la relación 21: 1, entre metano y anhídrido carbónico, y utilizando el valor transado de estos bonos en bancos extranjeros.

4.13 Detalle de la inversión

Como ocurre prácticamente en la totalidad de los rubros productivos la inversión inicial es bastante alta, y la instalación de un biodigestor anaeróbico utilizando como

materia prima del sistema, los purines de una lechería, no es la excepción (ver ANEXO 7).

En el ANEXO 5, se detalla la inversión inicial destacándose el movimiento de tierra, estructuras, tuberías y accesorios, equipo electromecánico y edificaciones.

4.14 Flujo de caja

A continuación se ha desarrollado el flujo de caja correspondiente para el periodo de evaluación del proyecto (ANEXO 8, 9 y 10).

Para el cálculo de los ingresos anuales se consideró un costo de de electricidad correspondiente a 144.809 $/kW-h como precio base, esta información entregada por Cooperativa Regional Eléctrica Llanquihue (Crell), empresa de distribución de energía eléctrica rural de la zona en donde teóricamente se construye la instalación, y los otros ingresos corresponden a la producción de efluentes con su equivalencia con fertilizantes químicos y los Bonos de Carbono. No se consideran los impuestos, ya que todo lo producido electricidad y efluentes, se utiliza dentro de la explotación lechera.

4.15 Financiamiento – tabla de amortización

Para cubrir la inversión inicial y demás costos necesarios para la ejecución del proyecto, al menos por el primer año se solicitará un crédito a largo plazo por un valor de $ 21.071.868 incluyendo dentro de este un impuesto al crédito de 1,6 %, que será pagado en veinte cuotas anuales con una tasa de interés de 10 % y sin años de gracia.

Como el motor generador tiene una vida útil de 10 años, se solicitara un nuevo crédito.

4.16 Cuadro de fuentes y usos de fondos

El cuadro de fuentes y usos de fondos se plantea con la finalidad de obtener una proyección de la disponibilidad de fondos, los ingresos y depreciación son fijos y solo

varía el total, ya que año a año se suman el saldo del año anterior lo que permite acumular fondos, esto es igual para todos los diferentes escenarios en estudio.

Y los usos a que se destinaran dichos fondos, también se muestran fijos los costos, a través del desarrollo del proyecto, solo se aprecia una variación a partir del año 10, por el nuevo crédito solicitado. No se considera un aporte de capital ni retiros personales para el productor.

4.17 Indicadores financieros

A continuación se presentan los resultados para los diferentes escenarios en el Cuadro 20.

CUADRO 20 Resumen de los Indicadores financieros.

Escenario	VABN ($)	TIR (%)	PE (%)	PRC (años)	PRC descontando (años)
Normal	57.107.103	45,28	83,66	2	5
Optimista	114.302.416	77,20	78,57	1	3
Pesimista	49.371.217	40,60	95,12	3	6

Como se puede observar en el Cuadro 20, todos los escenarios son económicamente viables no se corren riesgos monetarios en llevar a cabo el proyecto de biodigestor anaeróbico para una lechería tipo descrita anteriormente en la Décima Región de Los Lagos.

Este modelo podría ahorrar costos energéticos, reducir considerablemente el contenido de carga contaminante para así producir un abono más estable y enriquecido en nutrientes. También ayudaría a eliminar el metano, reducir los malos olores, el volumen de sus residuos, generando un menor costo de transporte, llegando

a independizarse de las empresas eléctricas y de gas haciendo la vida rural más atractiva y sostenible.

Para las entidades financieras este tipo de proyecto es de riesgo por ello es necesaria la intervención gubernamental para impulsarlos por razones tales como, Chile es un país deficitario en energía.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación técnica, económica para la implementación de un biodigestor anaeróbico en una lechería tipo de la Región de Los Lagos, se concluye lo siguiente:

- El modelo de biodigestor anaeróbico presentado es factible técnicamente, se recomienda la construcción en verano, y las características deben ser las siguientes: el digestor debe estar sellado herméticamente, tener un sistema de calefacción, agitación, monitoreo y control, además de auto sustentarse con el requerimiento de calor y energía.

- El modelo permite el uso de los efluentes para la fertilización dentro de la explotación y la inclusión de bonos de carbono, siendo fundamentales para la factibilidad económica.

- Los mayores costos en la construcción del sistema de digestión anaerobia están asociados al hormigón, y dentro de los equipos auxiliares, el motor generador. Pero el costo fijo para mantener la temperatura en términos monetarios, es casi igual al producido en electricidad.

- Para cada uno de los escenarios planteados se calculó el VAN y el TIR, con una tasa de descuento del 10%, resultando en el escenario normal una VAN de $ 57.107.103 y una TIR de 45,28% en el escenario optimista una VAN de $ 114.302.416 y TIR de 77,20% y en el escenario pesimista, VAN de $ 49.371.271 y TIR de 40,60% con esto se llega a la conclusión, que en cualquier escenario presentado, no se corren riesgos monetarios en llevar a cabo el proyecto de biodigestor anaeróbico. Por lo cual se recomienda la

implementación en las lecherías de la Décima Región de Los Lagos, ya que la inversión es reductible.

- La alta inversión inicial, exige que la construcción no sea una unidad temporal. Al planificar un diseño, este debe ajustarse a la explotación para aumentar su eficiencia técnica y económica. En especial el primero, para disminuir el consumo de calefacción, que es el mayor costo.

- Este tipo de proyecto se presenta como una buena colocación de capitales. Pero la situación económica nacional y mundial, hoy en día y para los próximos años la banca de capitales está tratando de disminuir el riesgo.

6. BIBLIOGRAFIA

ALFARO, M y SALAZAR, F. Ganadería y Contaminación Difusa, Implicancias para el Sur de Chile. . *Agric. Téc.*. [online]. sep. 2005, vol.65, no.3 [citado 19 Julio 2006], p.330-340. Disponible en la World Wide Web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072005000300012&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0365-2807.

ALAMOS, A. 2004. Evaluación de la producción estacional de leche en la Décima Región Sur. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Fonos: (56 - 2) 354 4180 - 354 7172 Fax: (56 - 2) 354 5727 Santiago. Chile. http://www.deaucconsultores.puc.cl. (02.08.2008).

ALIANZA EN ENERGIA Y AMBIENTE CON CENTROAMÉRICA, 2006**.** "MINI CENTRAL BIOELÉCTRICA MIRAVALLE". Proyecto piloto generación eléctrica utilizando biogás producido con estiércol de ganado. EL SALVADOR – Tema: ENERGIA. Capitulo 1. Resumen ejecutivo Minicentral Bioeléctrica Miravalle**.**

BURKE, D. 2001. Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook. Options for Recovering Beneficial Products From Dairy Manure. Environmental Energy Company. 6007 Hill Street Olympia, WA 98516 © Environmental Energy Company. 54 p.

CALDERAS ELÉCTRICAS (ACV). 2009. Instrucciones de instalación, uso y mantenimiento. Etech. 25 pág. http://www.acv.com/int-es/03_02/7/app.rvb. (25.10.2008).

CERESITA S.A. 2009. División Ceresita Industrial - Sistemas Epóxicos. http://www.ceresita.com/?p=home&s=pinturas-industriales&c=pages/pinturas-industriales/epoxicos#2 (01.09.2008).

COMISIÓN NACIONAL DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLA. Junio 2003. Especificaciones técnicas de buenas prácticas agrícolas. Bovinos de Lechería. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura.

CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA. 2006. Producción Limpia. http://www.pl.cl/familia.asp?cod_fam=6. (23.12.2008).

CONTRERAS, R. y VILCHES, R. 2007. “Diseño de un Sistema de Manejo y Utilización de Purines en Predios de Engorda Bovina Intensiva, Basado en Estudios de Casos.” Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Ciencias Animales. Santiago-Chile. Enero, 2007.

CONVERSE, J. 2001. Fundamentals of biogas production from dairy manure. Biological systems engineering. University of Wisconsin-madison. Presented at the Wisconsin Ad Hoc Anaerobic Digestion Committee Meeting. DATCP.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ), Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) 1999a. Biogas Digest. Volume II. Biogas - Application and Product Development**.** Federal Republic of Germany.81 p.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ), Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) 1999b. Biogas Digest. Volume III. Biogas - Costs and Benefits and Biogas – Programme Implementation. 61p.

DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE 2008. Dirección General de Aeronáutica Civil. Climas. Región de los Ríos y de Los Lagos. http://www.meteochile.cl/climas/climas_decima_region.html (05.08.2008)

DOMÍNGUEZ, P y LY, J. sf. Biodigestores como componentes de Sistemas Agropecuarios Integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas. PO Box 1, Punta Brava, La Habana, Cuba. 34 – 43 p.

EMARESA INGENIEROS Y REPRESENTACIONES S.A., 2009. Equipos electrógenos. http://www.emaresa.cl/ (16.04.2009)

ESCRIBANO, A. sf. Un enfoque para el tratamiento de purines. Agroterra. http://www.agroterra.com/profesionales/articulos.asp?IdArticulo=46. (01.02.2009)

ENRIC, 2005. Uso avanzado de la biomasa: producción de biogas. Biomasa como fuente energética en países en desarrollo. Modulo 7. Lectura 7.1. 11 p.

FONDO HONDUREÑO DE INVERSIÓN SOCIAL (FHIS). 2009. Conservación de leche cruda. 7 pág. Honduras. http://www.fhis.hn. (12.10.2008).

GARCÍA, 2006. Pequeños medios de generación distribuida: caso aplicación purines de cerdos. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas. Departamento De Ingeniería Eléctrica. SANTIAGO DE CHILE. OCTUBRE 2006. 107 p.

GOOCH, C. 2006. Anaerobic Digestion in the United States . Dairy Housing and Waste Management Engineer. Biological and Environmental Engineering Department. PRO-DAIRY Program Cornell University Ithaca, New York State, USA.

GONZALEZ, Y. y SANDOVAL, S. 2005. Diseño de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de purines de origen bovino. Universidad Católica de Temuco. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Ambiental. Temuco, Chile. 204 p.

GUÍA DE MANEJO Y BUENAS PRACTICAS PARA EL SECTOR LECHERO DE LA ZONA CENTRAL, 2001. Cooperativa agrícola y lechera Casablanca Ltda. Cooperativa agrícola y lechera Santiago ltda. Dirección Regional Metropolitana de CORFO. Servicio agrícola y ganadero, SAG. Servicio de salud Metropolitano del ambiente, SESMA. Superintendencia de servicios sanitarios, SISS. Intec Chile, centro de producción mas limpia, cp+l. 23 p.

HAMMEKEN, A, y ROMERO, E. 2005. Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. Tesis Licenciatura. Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo. Derechos Reservados, Universidad de las Américas Puebla.

HILBERT, J. 2004. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural. I.N.T.A. - Castelar. 24 p.

HILBERT, FLOREAN y PANICHELLI, 2005. BIOGAS 2005. Software para la Evaluación Técnico Económica Financiera de Biodigestores Rurales. Versión 6. Argentina.

HOMECENTER SODIMAC, 2008. http://www.sodimac.cl. Chile. (14.09.2008).

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 2005. Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. MINISTERIO DE AGRICULTURA. COLECCIÓN LIBROS INIA Nº 18. SANTIAGO, CHILE. 204p.

LAFARGE S.A. 2009. Morteros. T-25 Estucos térmicos. http://www.lafarge.cl/morteros/img/T25.pdf. Santiago.Chile. 3 p.

MANTILLA, J. 2002. Diseño y factibilidad técnica y económica de una planta productora de biogás utilizando residuos de ganado vacuno. 11 p.

MONCAYO, G. 2003. “EL tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos en digestores biológicos anaeróbicos y producción de biogás”. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. Honduras. 13 p.

MONCAYO, G. 2005. Manejo Ecológicamente compatible de las Cuencas del Tungurahua. Ambato Provincia de Tungurahua. Ecuador. 18 p.

MONTES, M. 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás. Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente E.T.S. I. de Caminos, Canales y Puertos. Veracruz, México. 487p.

PLASTECNIA S.A. 2009. Geomembrana – Lamina de HDPE. Santiago. Chile. http://www.plastecnia.cl. (01.03.2009).

QUESADA, R. SALAS, N. ARGUEDAS, M. y BOTERO, R. 2007. Generación de energía eléctrica a partir de biogás. Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. Tierra Tropical (2007) 3 (2): 139-147P.

SAMANI, Z. 2004. Generación de energía y fertilizante orgánico a partir de residuos agrícolas. Departamento de Ingeniería Civil y Geotécnica. New Mexico State University. Torreón, Coahuila.

SALAZAR, F. DUMONT, J. SANTANA, M. PAIN, B. CHADWICK, D. y OWEN, E. 2003. Prospección del manejo y utilización de efluentes de lecherías en el sur de Chile. *Arch. med. vet*. [online]., vol.35, no.2 [citado 18 Julio 2006], p.215-225. Disponible en la World Wide Web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2003000200009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0301-732X.

SAPAG N. y SAPAG R., 2000. Preparación y Evaluación de Proyectos. Cuarta Edición. Editorial McGraw Hill/ Interamericana de Chile LTDA. Chile.

TEUBER, N. URIBE, H. OPAZO, L. 2003. Seminario: Hagamos de la lechería un mejor negocio. BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y ASPECTOS AMBIENTALES. SALAZAR, F. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Remehue. Puerto Varas, 28 Ago. 2003. Serie Actas Nº 24. 122 p. http://www.inia.cl/remehue/publicaciones/descarga.cfm?path=produccion_leche/seminario_hagamos_lecheria_mejor_negocio/cap4.1.pdf&id_pub=61&id_cap=4.10 (01.07.2008).

TORRES, M y FOLLARI, J. sf. Un biodigestor de boñigas de cabra calefaccionado con colectores planos. Laboratorio de Energía Solar, U.N.S.L. Chacabuco y Pedernera. San Luis. Cuba.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Documento ANC-0603-19-01. GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. Bogotá, D.C., Marzo de 2003. 47p.

USEPA, 2005.United States Environmental Protection Agency Fact Sheet – AgSTAR Digest, EA 430-F-00-012, http://www.epa.gov/agstar. (01.02.2009).

USEPA, 2007. United States Environmental Protection Agency Fact Sheet – AgSTAR Digest, EA 430-F-00-012, http://www.epa.gov/agstar. (01.02.2009).

VALERO, J. sf. TECNOLOGIAS. Digestión anaerobia CITMA (Centro de Innovación Tecnológica del Medio Ambiente).

VETO, 2008. Catalogo general. Productos en stock. Medición, control, registro y automatización. Versión 03-08. Instrumentación Industrial-Agrícola-Minera. 304 pág. Santiago. Chile.

VOLUNTEERS IN TECHNICAL ASSISTANCE, 1980. Cubic Meter Biogas Plant a Construction Manual. VITA publication. ISBN 0-86619-069-4. 1600 Wilson Boulevard, Suite 500 Arlington, Virginia 22209 USA. 37p.

WILKIE, A. 2003. Anaerobic digestion of flushed dairy manure. Soil and Water Science Department. P.O. Box 110960. University of Florida. USA.

7. ANEXO

ANEXO 1. Cálculos de la planta de biogás.

1. Producción de estiércol diaria.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$E = NA \bullet PVP \bullet \left(\frac{PE}{100} \right)$$

Donde;

E = Estiércol en kilogramos por día (3.500 kg/día).

NA = número de animales (100 U.A.).

PVP = Peso Vivo promedio por animal (550 kg).

PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo. (6,36 %).

Se aplica la siguiente función de cálculo para producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo, para ello el 70% de las excretas corresponde al estiércol.

$$PE = \frac{\left[E \bullet NA \bullet \left(\frac{70}{100} \right) \right]}{PVP}$$

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

2. Producción de orina diaria.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$O = NA \bullet PVP \bullet \frac{PO}{100}$$

Donde;

O = Orina por día en kilogramos (se asume que un litro de orina pesa un kilogramo) (1.500 kg/día).

PVP = 550 kg.

PO = Producción de orina por animal por día en porcentaje de peso vivo (2,73%).

NA = 100 U.A.

Se aplica la siguiente función de cálculo para producción de orina por animal por día en porcentaje de peso vivo, para ello el 30 % de las excretas corresponde a el orina.

$$PO = \frac{\left[O \bullet NA \bullet \left(\frac{30}{100} \right) \right]}{PVP}$$

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

3. Producción de materia prima para carga diaria.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$MPC = (E + O) \bullet \frac{Pe}{1000}$$

Donde;

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día (5.130 kg/día).

E = 3.500 kg/día.

O = 1.500 kg/día.

Pe = Peso especifico del purín (1026 kg/m^3).

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

4. Producción de sólidos totales en el estiércol.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$\%ST = \frac{E \bullet \%EST}{MPC}$$

Donde;

%ST = Porcentaje de sólidos totales en la materia prima para la carga (13,65%).

E = 3.500 kg/día.

%EST = Porcentaje de sólidos en el estiércol (20%).

MPC = 5.130 kg/día.

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

5. Producción de sólidos totales para en la carga diaria.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$ST = \frac{\%ST \bullet MPC}{100}$$

Donde;

ST = Cantidad de sólidos contenidos en la materia prima para la carga, en kilogramos por día (700 kg/día).

%ST = Porcentaje de sólidos en la carga o materia prima, el cual debe ser inferior al 10% (13,65%).

MPC = 5.130 kg/día.

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

6. Cálculo del volumen de agua para la dilución.

Solamente se calcula cuando el porcentaje de sólidos totales (%ST) es superior al 10%.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$MH_2O = \frac{MPC \bullet ST}{10} - MPC$$

Donde;

MH_2O = Volumen de agua para la mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día (1.870 kg/día).

MPC = 5.130 kg/día.

ST = 700 kg/día.

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

7. Carga diaria.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$C = MPC + MH_2O$$

Donde;

C = carga diaria para alimentar el digestor, en kilogramos por día (7.000 kg/día).

MPC = 5.130 kg/día.

MH_2O = 1.870 kg/día.

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

8. Tiempo de retención.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$TR = (-51.227 \bullet Ln(T^{o}C)) + 206.72$$

Donde;

TR = tiempo retención, en días (25 días)

Ln = Logaritmo natural

TºC = temperatura promedio, en grados centígrados del biodigestor (35ºC).

FUENTE: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

9. Volumen del tanque de alimentación.

Se aplica la siguiente función de cálculo. Cabe señalar que se alimenta el digestor cada 6 horas y se utiliza como medida de seguridad un factor de 3.

$$Vt = \frac{\left(\frac{C}{1000}\right)}{\left(\frac{24}{4}\right)} \bullet 3$$

Donde;

Vt = Volumen del tanque de alimentación, en metros cúbicos por día (3,5 m^3/día)

C =7.000 kg/día.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

10. Volumen del digestor.

Se aplica la siguiente función de cálculo. Cabe señalar que se debe dividir en dos el resultado, ya que se decide construir dos digestores.

$$Vd = \left(\frac{C}{1000} \right) \bullet TR \bullet 1.2$$

Donde;

Vd = volumen del digestor, en metros cúbicos por día (206 m^3/día).

C = 7.000 kg/día.

TR = 25 días.

1.2 = Volumen adicional para el almacenamiento del biogás.

FUENTE: MODIFICADO DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2006.

11. Cálculo del flujo masico.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Flm = \left(\frac{C}{1000} \right) \bullet Pe$$

Donde:

Flm = Flujo masico, en kilogramos por día (7.182 kg/día)

C = 7.000 kg/día.

Pe = 1.026 kg/m^3.

FUENTE: GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005.

12. Cálculo de la demanda de oxigeno a la entrada del digestor.

Se aplica la siguiente función de cálculo. Se utiliza un 0,092 kg/Lt, según ALAMOS, 2004.

$$DQOe = \frac{DQO \bullet Flm}{D}$$

Donde:

DQOe = Demanda química de oxigeno a la entrada del digestor, en metros cúbicos por día (0,644 m^3/día).

DQO = 0,092 kg/Lt.

Flm =7.182 kg/día.

FUENTE: GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005.

13. Cálculo de la demanda de oxigeno de remoción en el digestor.

Se aplica la siguiente función de cálculo, aplicando un 60 % de remoción según GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005.

$$DQOr = DQOe \bullet \frac{\%remoción}{100}$$

Donde:

DQOr = Demanda química de oxigeno de remoción en el digestor, en metros cúbicos por día (0,3864 m^3/día).

DQOe = 0,644 m^3/día.

% remoción = 60%.

FUENTE: GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005.

14. Cálculo de biogás producido por día.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$PG = DQOr \bullet P \bullet 1000$$

Donde;

PG = Biogás producido, en litros por día (135,24 Lt/día).

DQOr = 0,3864 m^3/día.

P = Producción aproximada de gas, en metros cúbicos por kilogramo de masa orgánica seca total (0,35 m^3/kgMV).

FUENTE: GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005.

15. Dimensionamiento del tanque de alimentación.

Se define una profundidad de 1,5 metros para el dimensionamiento del tanque de alimentación, utilizando la relación 2:1 para el largo y ancho.

Se aplican las siguientes funciones de cálculo.

$$At = \frac{Vt}{Lt \bullet 1.5}$$

Donde;

At = Ancho del tanque de alimentación, en metros (1,08 m).

Lt = Largo del tanque de alimentación, en metros (2,16 m).

Vt = Volumen tanque de alimentación, en metros.

El largo se calcula con la siguiente función de cálculo.

$$Lt = \sqrt{\left[\left(\frac{Vt}{1.5}\right) \bullet 2\right]}$$

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

16. Dimensionamiento del digestor.

A partir de una profundidad de 2,5 metros y 6,5 metros de ancho por las dimensiones de la geomembrana se calcula el largo en metros.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Ld = \frac{\left(\frac{Vd}{2}\right)}{6.5 \bullet 2.5}$$

Donde;

Ld = Largo del digestor, en metros (6,36 m).

Vd = 103 m^3/día.

2 = Numero de digestores.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

17. Cálculo de la generación de energía eléctrica.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$E = PG \bullet PC \bullet \left(\frac{EF}{100} \right) \bullet 1.2$$

Donde;

E = Producción diaria electricidad, en kilowatts hora por día (438,1776 kW/día).

PG = 135,24 Lt/día.

PC = Potencial calorífico, en kilowatts por metro cúbico (6 kWh/m^3).

EF = Eficiencia Generador eléctrico (45%).

1.2 = 20% de seguridad.

FUENTE: MONCAYO, 2008.

Al elegir un motor diesel de 25 kWh (ver ANEXO 13), se asume que este debe permitir un funcionamiento permanente y así permitir alimentar al sistema.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$GE = \frac{E}{24}$$

Donde;

GE = Generación de energía eléctrica, en kilowatts por hora (18 kWh).

E = 438,1776 kW/día.

24 = horas del día.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

18. Requerimiento de fierro para el hormigón de los digestores

Para los verticales la estructura de hormigón armado se utiliza fierros de 6 mm de diámetro y con un espesor de 0,15 metros.

El digestor tiene las siguientes condicionantes: una profundidad de 2,5 metros y 6,5 metros de ancho por las dimensiones de la geomembrana.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Fe6 = \left(\frac{2.5 \bullet 2 + 6.5}{0.15} + 1 \right) \bullet 2$$

Donde;

Fe6 = Fierros de 6 mm de diámetro, en metros (155,3 m).

Cada fierro tiene 11 metros de largo, y se vende por kilogramo que pesa 0.222 kilogramos por metro.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Fe6k = \frac{Fe6}{11} \bullet 0.222$$

Donde;

Fe6k = Fierros de 6 mm de diámetro, en kilogramos (225 kg).

Para los horizontales del hormigón armado se utilizan fierros de 8 mm de diámetro.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Fe8 = \left(\frac{Ld}{0.15} + 1 \right) * 2$$

Donde;

Fe8 = Fierros de 8 mm de diámetro, en metros (86,8 m).

Ld = 6,36 m.

Cada fierro tiene 13 metros de largo, y se vende por kilogramo que pesa 0.4 Kilogramos por metro.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Fe8k = \frac{Fe8}{13} \bullet 0.4$$

Donde;

Fe8k = Fierros de 8 mm de diámetro, en kilogramos (416 kg).

El tanque de alimentación no lleva fierros, basta con los 15 cm de espesor del hormigón.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

19. Cálculo de tuberías de calefacción.

Para el cálculo de las tuberías de calefacción tanto para el tanque de alimentación como para los digestores, se cubre un 75% del volumen a calentar, la instalación debe comenzar a partir 0.25 metros del fondo para tanque de alimentación y 0.5 metros para los digestores.

El tanque de alimentación almacena la cuarta parte de la carga diaria para descargar posteriormente del calentamiento y agitación de los purines a los digestores.

Para los digestores se considera la carga diaria por el tiempo de retención hidráulico.

Se aplica la siguiente función de cálculo:

$$\mathrm{Pr}of.masa = \frac{Ctd}{L\arg o \bullet Ancho \bullet f}$$

Donde;

Prof.masa = Profundidad de la masa a calentar (metros).

Ctd = Cantidad de masa a calentar (m^3).

f = Factor (Solo para el tanque de alimentación ya que se descarga 4 veces al día).

Largo = Largo de la unidad (metros).

Ancho = Ancho de la unidad (metros).

Para saber el número de hileras de tuberías para la calefacción en el tanque de alimentación y digestores se aplica la siguiente función de cálculo;

$$hileras = \frac{\mathrm{Pr}of.masa - dist.fondo}{0.25}$$

Donde;

Hileras = Numero de hileras (unidad).

Prof.masa = Profundidad de la masa a calentar (metros).

dist.fondo = Distancia de profundidad (metros).

0.25 = distancia entre hileras (metros).

Para saber la cantidad en metros de tuberías se aplica la siguiente función de cálculo;

$$Tuberías = ((largo \bullet hileras) \bullet 2 + (ancho \bullet hileras) \bullet 2) \bullet 1.25$$

Donde;

Tuberías = Cantidad de tuberías (metros).

1.25 = Factor de seguridad para la instalación desde la caldera al tanque y digestores (metros).

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

20. Valorización económica de los efluentes del sistema.

Para la valorización económica de los efluentes del sistema, se aplica el supuesto que la dilución es 1:1, entre las excretas y agua de dilución, una vaca producen 100 litros (excretas y agua de dilución).

Se utiliza el siguiente cuadro.

Kilogramos de nutrientes/1.000 litros (Kgn)	
Nitrógeno	2,6
Fósforo	0,4
Potasio	1,84
Magnesio	0,17

FUENTE: MODIFICADO DE HOLMBERG, G, 1996.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Kga = \frac{Kgn \bullet NA \bullet 365 \bullet 100}{1000}$$

Donde;

Kga = Kilogramos de nutrientes, en 1000 litros.

Kgn = Ver tabla.

100 = Dilución 1:1 entre excretas y agua de dilución, en litros.

NA = Número de animales (100 U.A.).

FUENTE: MODIFICADO DE HOLMBERG, G, 1996.

Se utilizan los fertilizantes químicos Nitromag (27% en contenido de Nitrógeno), Superfosfato triple (46% en contenido de Fósforo), Muriato de Potasio (60% en contenido de Potasio) y Oxido de Magnesio (85 % de Magnesio).

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Eqt = \frac{\left(\frac{Kga}{Cnt}\right)}{10}$$

Donde;

Eqt = Equivalencia en fertilizantes químicos, en toneladas.

Kga = Kilogramos de nutrientes, en 1000 litros.

Cnt = Contenido del nutriente, en porcentaje.

FUENTE: MODIFICADO DE HOLMBERG, G, 1996.

A continuación se calcula el valor de la unidad de nutriente producida por el purín, que es la cantidad de nutriente que aporta el purín y el valor del fertilizante químico.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Vun = \frac{Eqt \bullet Vton}{Kga}$$

Donde;

Vun = Valor de la unidad de nutriente producida por el purín, en pesos.

Eqt = Equivalencia en fertilizantes químicos, en toneladas.

Kga = Kilogramos de nutrientes, en 1000 litros.

Vton = Valor tonelada del fertilizante químico, en pesos.

Para la valorización monetaria de los fertilizantes químicos en toneladas se utilizaron los siguientes datos.

Nutriente	Valor tonelada en pesos
Nitromag	$ 410.000
S.F.T	$ 625.000
Muriato de K	$ 630.000
Oxido de Mg	$ 320.000

FUENTE: EN COMUNICACIÓN PERSONAL CON LLANOS Y WAMMES SOCIEDAD COMERCIAL LIMITADA (COVEPA), 2009.

FUENTE: MODIFICADO DE HOLMBERG, G, 1996.

Para obtener el valor total en pesos entregados de los nutrientes en su equivalencia con fertilizantes químicos, se le debe aplicar la remoción de los nutrientes Nitrógeno (62% de remoción), Fósforo (50% de remoción), Potasio (10% de remoción) y Magnesio (60% de remoción) según GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$VTN = Kga \bullet Vun \bullet \left(\frac{100 - Rm}{100} \right)$$

Donde;

VTN = Valor total por nutriente, en pesos.

Kga = Kilogramos de nutrientes, en 1000 litros.

Vun = Valor de la unidad de nutriente producida por el purín, en pesos.

Rm = Remoción, en porcentaje.

FUENTE: MODIFICADO DE HOLMBERG, G, 1996.

El siguiente cuadro muestra el valor total en pesos después de la remoción de los nutrientes producida en los digestores.

Valor Unidad Orgánico	**Valor en pesos**	**remoción %**	**Valor Total en pesos**
1518,5	$ 14.410.741	62	$ 5.476.081
1358,7	$ 1.983.696	50	$ 991.848
1050,0	$ 7.051.800	10	$ 6.346.620
376,5	$ 233.600	60	$ 93.440
TOTAL	$ 23.679.836		**$ 12.907.989**

21. Bonos de carbono.

Para el cálculo de total de CO_2, se considera que el metano equivale a 21 veces el anhídrido carbónico, y que del total del biogás producido un 65% es Metano y 34% anhídrido carbónico, y el 1% restante corresponde a otros gases. Como se explica en detalle para cada escenario mas adelante.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$TCO_2 = \left(\frac{\%CH_4}{100} \bullet 21 \right) + \frac{\%CO_2}{100}$$

Donde;

TCO_2 = Toneladas de anhídrido carbónico.

% CH_4 = Porcentaje de metano.

% CO_2 = Porcentaje de anhídrido carbónico.

21 = Equivalencia metano – anhídrido carbónico.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

Los siguientes cuadros muestran los resultados de la función de cálculo anterior para los diferentes escenarios y resultado económico.

1. Escenario Normal.

Producción de biogás proyecto	135,24			m^3/día
Metano en biogás	65			%
Total metano	87,90			m^3/día
Anhídrido de carbono en el biogás	34			%
Total Anhídrido de carbono en el biogás	45,98			m^3/día
Relación poder contaminante metano – Anhídrido de carbono	21	veces	1846,02	m^3/día
Total Anhídrido de carbono en m^3			1892	m^3/día
Densidad del Anhídrido de carbono	1,6	kg/m^3	3027,21	kg/día
TOTAL Anhídrido de carbono en toneladas	3,027			ton/día
Precio transado bono de carbono	6			dólares/ton
Dólar a pesos (Tipo de cambio)	640			pesos/dólar
TOTAL	$ 11.624			pesos/día
	$ 4.184.818			pesos/año

2. Escenario Optimista.

Producción de biogás proyecto	135,24			m^3/día
Metano en biogás	75			%
Total metano	101,43			m^3/día
Anhídrido de carbono en el biogás	24			%
Total Anhídrido de carbono en el biogás	45,98			m^3/día
Relación poder contaminante metano – Anhídrido de carbono	21	veces	2130,03	m^3/día
Total Anhídrido de carbono en m^3			2162,48	m^3/día
Densidad del Anhídrido de carbono	1,6	kg/m^3	3459,98	kg/día
TOTAL Anhídrido de carbono en toneladas	3,459			ton/día
Precio transado bono de carbono	6			dólares/ton
Dólar a pesos (Tipo de cambio)	640			pesos/dólar
TOTAL	$ 13.286			pesos/día
	$ 4.783.077			pesos/año

3. Escenario Pesimista.

Producción de biogás proyecto	135,24			m^3/día
Metano en biogás	55			%
Total metano	74,38			m^3/día
Anhídrido de carbono en el biogás	44			%
Total Anhídrido de carbono en el biogás	59,50			m^3/día
Relación poder contaminante metano – Anhídrido de carbono	21	veces	1562,02	m^3/día
Total Anhídrido de carbono en m^3			1621,52	m^3/día
Densidad del Anhídrido de carbono	1,6	kg/m^3	2594,44	kg/día
TOTAL Anhídrido de carbono en toneladas	2,594			ton/día
Precio transado bono de carbono	6			dólares/ton
Dólar a pesos (Tipo de cambio)	640			pesos/dólar
TOTAL	$ 9.963			pesos/día
	$ 3.586.560			pesos/año

ANEXO 2. CÁLCULO BOMBA HIDRAULICA.

El total de masa a agitar de un digestor es de 103,28 m^3, de los cuales se necesita una agitación cada 4 horas por dos horas al día, mas un 20% de perdida por roce, se duplica el caudal calculado por perdidas de presión, se multiplica por 4 por la presión generada y se le agrega un 40% de eficiencia, por ende se necesitaría una bomba de 0.5 HP. Se instala una bomba para los digestores, y se considera el mismo consumo para la bomba de transporte de purines, estas dos bombas se alimentan eléctricamente.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Cdal = \frac{Msa}{Dfh \bullet Tag}$$

Donde;

Cdal = Caudal, en litros por segundo.

Msa = Masa de purines, en litros.

Dfh = Diferencia de horas en iniciar la agitación, en segundos.

Tag = Duración de la agitación, en segundos.

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

El siguiente cuadro muestra los resultados de la función de cálculo y enunciado anterior para llegar al resultado en consumo de las bombas en kW-h, cabe señalar que se utiliza en mismo consumo para las bombas recirculadoras de agua de las calderas, pero estas funcionan todo el día.

Digestor			
103,28	m^3		
25820	lts/6hrs		
12910	lts/hr		
215	lts/min		
4	lt/seg	20	% perdida de roce
4,30	m elevación/seg	4	m (+ presión)
8,30	m elevación/seg	4	a kgm
33,21	kgm/seg	40	% seguridad para la eficiencia
46,49	kgm/seg.	0,01	a kW-h
0,46	kW		
0,5	HP		
Consumo Bombas	0,35	kW-h	
	2,8	kW-h	4 veces al día por 2 hrs.
	2	motores	
Consumo total	**5,6**	**kW-h**	

ANEXO 3. CALDERA.

Para el cálculo de la caldera se diferenciara entre el tanque de alimentación y digestores, ya que son diferentes necesidades de calefacción.

Para el tanque de alimentación, en primer lugar se debe determinar la energía necesaria para calentar los 1.75 m^3 de purines, se divide la carga diaria por cuatro, ya que se hace igual numero de descargas a los digestores, se utiliza el calor especifico del agua para simplificar el caso a todo esto debe descontarse la energía perdida por transferencia y luego encontrar la potencia requerida, que no es más que la energía necesaria en el tiempo de calentamiento requerido para 6 horas. Al hacer los cálculos, se obtiene una potencia requerida de 2105 kcal/h, utilizándose una caldera de potencia total de 3870 kcal/h, para tener un margen de seguridad. En cuanto al consumo, se estima en 5 kW-h.

Con respecto a la mantención de los 35ºC dentro del biodigestor, se utilizan los mismos enunciados anteriores, pero al realizar los cálculos, se obtiene una potencia requerida de 7224 kcal/h, utilizándose una caldera de potencia total de 9030 kcal/h, para tener un margen de seguridad. En cuanto al consumo, se estima en 11 kW-h.

.

ANEXO 4. CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA CALDERA NECESARIA.

Se considera una temperatura de entrada de los purines a temperatura ambiental, para el caso 8ºC, y una temperatura a alcanzar de 35ºC en los purines, al resultado se debe agregar las perdidas producidas por transferencia.

Se aplica la siguiente función de cálculo.

$$Ens = \frac{Msa \bullet Cesp \bullet \&t^{o}}{24}$$

Donde;

Ens = Energía necesaria, en kilocalorías por hora.

Msa = Masa de purines, en litros.

Cesp = Calor especifico, en kilocalorías por kilogramos por grados Celsius.

&tº = Diferencial de temperatura, en grados Celsius.

24 = Horas de calefacción, en horas.

Para el cálculo de pérdidas de energía por transferencia de calor se debe calcular la superficie en metros cuadrados bajo tierra bajo tierra y en contacto con el aire, se utiliza un coeficiente de transferencia de calor del hormigón de 0.35 kcal/(h*m^2*ºC) ya que se estima que el estuco térmico disminuye a este factor lo que normalmente se utiliza 0.41 kcal/(h*m^2*ºC), donde se aplica la siguiente función de cálculo;

$$Perd.calor = Superficie \bullet coef.trans.hormigon \bullet (Temp.masa - Temp.amb)$$

Donde;

Perd.calor = Cantidad de perdida de calor (Kw/h)

Superficie = Superficie en contacto con el aire y tierra (metros cuadrados).

Coef.trans.hormigon = 0.35 kcal/(h*m^2*ºC).

FUENTE: MODIFICADO DE MONTES, M, 2008.

Por ende para obtener la potencia total se debe sumar la energía necesaria más las perdidas, una caldera alcanza para cubrir los requerimientos de calor para el tanque de alimentación y los digestores.

El siguiente cuadro muestra los resultados de la funciones de cálculos y enunciados anteriores para llegar al resultado de la potencia necesaria de las calderas.

Sistema de calefacción		
TANQUE ALIMENTACIÓN		
Temperatura inicial	8	ºC
Temperatura necesaria	35	ºC
Caudal	1750	kg/día
Ce agua	1	kcal/kg°C
Energía necesaria	1969	kcal/h
Energía necesaria para calefaccionar en 6 horas	328	Kcal/h
Superficie en contacto tierra	12	m^2
Superficie en contacto aire	2	m^2
Coef. Transferencia de calor hormigón.	0,35	kcal/(h*m^2*ºC)
Cálculo perdida de calor		
Contacto con tierra	114	kcal/h
Contacto con aire	22	kcal/h
Total perdida de calor	136	kcal/h
Energía necesaria tanque alimentación	**464**	kcal/h
DIGESTORES		
TEMPERATURA INICIAL	34	ºC
TEMPERATURA NECESARIA	35	ºC
Caudal	172131	kg/día
Ce agua	1	kcal/kg°C
Q	7172	kcal/h
Superficie en contacto tierra	106	m^2
Superficie en contacto aire	41	m^2
Coef. Transferencia de calor hormigón	0,35	kcal/(h*m^2*ºC)
Cálculo perdida de calor		
Contacto con tierra	37	kcal/h
Contacto con aire	14	kcal/h
Total perdida de calor	51	kcal/h
Energía necesaria digestor	**7688**	**kcal/h**
Caldera	**9030**	**kcal/h**
Consumo caldera	**11**	**kW-h**

ANEXO 5. DETALLE DE LA INVERSIÓN INICIAL.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL $
Movimiento de tierras				
Replanteo y nivelación de estructuras	m^2	126	25000	$ 31.567
Excavación a maquina	m^3	413	25000	$ 143.443
Relleno compacto	m^3	7	25000	$ 2.532
Acarreo mecánico 1 Km	m^3	406	35000	$ 197.276
			TOTAL	**$ 374.817**
Estructuras				
Hormigón	m^3	38	55.000	$ 2.080.528
Acero verticales	kg	225	700	$ 157.265
Acero horizontales	kg	416	850	$ 353.906
Alambre amarre	unidad	2	11.360	$ 22.720
Tableros	unidad	37	20.000	$ 749.012
Palos 2*3	unidad	20	1.000	$ 20.000
Enlucido y estuco térmico	m^3	4	25.000	$ 103.990
Revestimiento epoxico digestor	unidad	223	23.000	$ 205.375
Geomembrana HPDE 1 mm	m^2	19	2.500	$ 48.028
Platina 50*5 mm	m	51	9.000	$ 77.134
Clavos, pernos, tornillos, u otros		1	100.000	$ 100.000
			TOTAL	**$ 3.917.958**

FUENTE: HOMECENTER SODIMAC, 2008.

Tuberías y accesorios	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL $
Tubería de carga y descarga 140 mm	m	2	28.187	$ 56.374
Tubería calefacción 25 mm	m	199	3.500	$ 696.185
Tubería de PVC 50 mm	m	27	3.745	$ 33.705
Codo 45 º PVC 50 mm	unidad	12	720	$ 8.640
Tubería de acero 50 mm	m	12	37.390	$ 224.340
Válvula de cierre 50mm	unidad	10	4.715	$ 47.150
Medidor de caudal (biogás) 50 mm	unidad	2	2.700	$ 5.400
Termostato	unidad	2	3.000	$ 6.000
Filtro remoción H2O	unidad	1	5.000	$ 5.000
Filtro remoción de H2S	unidad	1	5.000	$ 5.000
Compuerta de hierro galvanizado tanque mezcla	unidad	2	12.000	$ 24.000
Pintura amarilla tuberías biogás	unidad	1	10.000	$ 10.000
Accesorios varios, llaves menores, codos , T, etc.	unidad	1	50.000	$ 50.000
			TOTAL	**$ 1.171.794**
Equipo electromecánico				
Calefactor caldera	unidad	1	500.000	$ 500.000
Bomba trasporte de purines	unidad	1	500.000	$ 500.000
Bomba alimentación de H2O	unidad	1	100.000	$ 100.000
Agitador 0,5 hp y recirculador	unidad	2	75.000	$ 150.000
Generadores de electricidad 25 Kw-h completo suministro e instalación	unidad	1	7.500.000	$ 7.500.000
			TOTAL	**$ 8.750.000**
Edificaciones				
galpones casa de máquinas	m^2	20	50.000	$ 1.000.000

TOTAL PROYECTO	***$ 15.214.569***

FUENTE: HOMECENTER SODIMAC, 2008.

ANEXO 6. INGRESOS Y COSTOS.

INGRESOS	Unidad	Cantidad	Precio	TOTAL $
Producción de electricidad	kW-h	438	145	$ 22.842.742
Bonos de carbono				$ 4.184.818
Fertilizantes				$ 12.907.989
			TOTAL	**$ 39.935.549**

COSTOS	TOTAL $
Honorarios, notario, etc.	$ 300.000
TOTAL	**$ 300.000**
COSTO CONSTRUCCION	
Movimiento de tierras	$ 374.817
Estructuras	$ 3.917.958
Tuberías y accesorios	$ 1.171.794
Equipo electromecánico	$ 8.750.000
Edificaciones	$ 1.000.000
TOTAL	**$ 15.214.569**

COSTOS NOMINALES	
Diseño del proyecto	$ 608.583
Estudio topográfico	$ 429.277
Servicio de construcción	$ 1.521.457
Asesoria	$ 1.366.142
TOTAL	**$ 3.925.459**

Costo Total De Inversión Inicial	
Costo construcción	$ 15.214.569
Costo equipamiento	$ 300.000
Costos nominales	$ 3.925.459
Capital de trabajo	$ 1.300.000
TOTAL	**$ 20.740.028**

DEPRECIACION CONSTRUCCION	años	
	20	**$ 760.728**
DEPRECIACION EQUIPAMIENTO	años	
Generador de electricidad 25 kW-h completo suministro e instalación	10	**$ 750.000**

COSTOS FIJOS	UNIDAD	CANTIDAD	Precio Unidad	TOTAL $
Remuneración	JH	1	32500	$ 390.000
Agitación	kW/día	5,6	145	$ 7.006.439
Diesel	lt	3	650	$ 702.000
Calefacción	kW/día	17	145	$ 21.644.891
TOTAL				**$ 30.619.134**

	CANTIDAD	UNIDAD	TOTAL $
Costo variable	5	%	$ 1.996.777

ANEXO 7. CREDITO DE INVERSION.

Crédito de inversión			
Inversión	Impuesto	Inversión con Impuesto	Anualidad
20.740.028	1,6	21.071.868	2.475.094

Año	Anualidad	Interés	Amortización	Saldo
0				21.071.868
1	2.475.094	2.107.187	367.907	20.703.961
2	2.475.094	2.070.396	404.698	20.299.264
3	2.475.094	2.029.926	445.167	19.854.096
4	2.475.094	1.985.410	489.684	19.364.412
5	2.475.094	1.936.441	538.653	18.825.760
6	2.475.094	1.882.576	592.518	18.233.242
7	2.475.094	1.823.324	651.770	17.581.473
8	2.475.094	1.758.147	716.946	16.864.526
9	2.475.094	1.686.453	788.641	16.075.885
10	2.475.094	1.607.588	867.505	15.208.380
11	2.475.094	1.520.838	954.256	14.254.124
12	2.475.094	1.425.412	1.049.681	13.204.442
13	2.475.094	1.320.444	1.154.650	12.049.793
14	2.475.094	1.204.979	1.270.114	10.779.679
15	2.475.094	1.077.968	1.397.126	9.382.553
16	2.475.094	938.255	1.536.838	7.845.714
17	2.475.094	784.571	1.690.522	6.155.192
18	2.475.094	615.519	1.859.575	4.295.617
19	2.475.094	429.562	2.045.532	2.250.085
20	2.475.094	225.009	2.250.085	0

Crédito reposición maquinaria				
Inversión	Impuesto	Inversión con impuesto	anualidad	
$ 7.500.000	1,6	$ 7.620.000	$ 1.240.120	
Año	Anualidad	Interés	Amortización	Saldo
0				7.620.000
1	1.240.120	762.000	478.120	7.141.880
2	1.240.120	714.188	525.932	6.615.948
3	1.240.120	661.595	578.525	6.037.423
4	1.240.120	603.742	636.378	5.401.046
5	1.240.120	540.105	700.015	4.701.030
6	1.240.120	470.103	770.017	3.931.013
7	1.240.120	393.101	847.019	3.083.995
8	1.240.120	308.399	931.720	2.152.274
9	1.240.120	215.227	1.024.892	1.127.382
10	1.240.120	112.738	1.127.382	0

ANEXO 8. INDICES ECONOMICOS.

1 Valor Actual Neto (VAN). El VAN, se describe como la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados en moneda actual. El proyecto se debe aceptar, si el valor actual neto es igual o superior a cero (SAPAG y SAPAG, 2000).

$$VAN = - I + \sum_{n=1}^{N} (Q_n / (1 + r)^n)$$

Donde:
Q_n = flujos de caja.
I = valor del desembolso inicial de la inversión.
N = número de períodos considerado.

2 Tasa Interna de Retorno (TIR). El criterio de la tasa interna de retorno (TIR), evalúa una única tasa de rendimiento por período, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual, (SAPAG y SAPAG, 2000), es decir, es la tasa que hace al VAN del proyecto igual a cero.

$$VAN = 0 = \Sigma_{i=1...n} BN_i / (1+TIR)^i$$

Donde:
VAN: Valor Actual Neto.
BN_i: Beneficio Neto del Año.
TIR: Tasa interna de retorno.

La tasa así calculada se compara con la tasa de descuento de la empresa. Si la TIR es igual o mayor que esta, el proyecto debe aceptarse y si es menor, debe rechazarse (GONZALEZ Y SANDOVAL, 2005).

3 Punto de equilibrio (PE). El punto de equilibrio se calcula con la siguiente formula (SAPAG y SAPAG, 2000) e indica el punto en donde los ingresos totales recibidos se igualan a los costos asociados con la venta de un producto:

$$PE = \left[\frac{\left(\frac{CF}{1-(CV/IB)} \right)}{IB} \right] * 100$$

Donde:

CF = Costos Fijos.

CV = Costos Variables.

IB = Ingresos Brutos.

4 Periodo de Recuperación del Capital (PRC). El periodo de recuperación del capital (PRC) se calcula con la siguiente formula (SAPAG y SAPAG, 2000) y su objetivo es determinar el tiempo en que se recupera la inversión, pero el PRC descontando tiene la ventaja de considerar un descuento por tiempo y riesgo:

Formula del Periodo de recuperación (PRC):

$$PRC = \frac{INVERSION.INICIAL}{\overline{X}.FLUJO.DE.CAJA}$$

Formula del Periodo de recuperación descontando (PRC descontando):

$$PRC.descon\tan do = \frac{INVERSION.INICIAL}{\overline{X}.FLUJO.DE.CAJA.ACTUALIZADO}$$

ANEXO 9. ESCENARIO NORMAL.

FLUJO DE CAJAS

AÑOS	0	1	2	3	4
Ingresos					
Electricidad		$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono		$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante		$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos		**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**
Costos					
Costos totales		-$ 31.740.107	-$ 31.800.010	-$ 31.873.411	-$ 31.949.013
Depreciación		$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión	-$ 21.071.868				
Valor residual Terreno					
FLUJO CAJA	**-$ 21.071.868**	**$ 9.706.171**	**$ 9.646.267**	**$ 9.572.867**	**$ 9.497.264**

AÑOS	5	6	7	8	9
Ingresos					
Electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**
Costos					
Costos totales	-$ 32.026.884	-$ 32.107.090	-$ 32.189.703	-$ 32.274.794	-$ 32.362.438
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión					
Valor residual Terreno					
FLUJO CAJA	**$ 9.419.394**	**$ 9.339.187**	**$ 9.256.574**	**$ 9.171.483**	**$ 9.083.839**

AÑOS	10	11	12	13	14
Ingresos					
Electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**
Costos					
Costos totales	-$ 32.452.712	-$ 32.545.693	-$ 32.641.464	-$ 32.740.108	-$ 32.841.711
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión					
Valor residual Terreno					
FLUJO CAJA	**$ 8.993.566**	**$ 8.900.584**	**$ 8.804.814**	**$ 8.706.170**	**$ 8.604.566**

AÑOS	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Ingresos					
Electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**	**$ 39.935.549**
Costos					
Costos totales	-$ 32.946.363	-$ 33.054.154	-$ 33.165.178	-$ 33.279.534	-$ 33.397.320
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión					
Valor residual Terreno					
FLUJO CAJA	**$ 8.499.915**	**$ 8.392.124**	**$ 8.281.099**	**$ 8.166.744**	**$ 8.048.957**

AÑOS	**20**
Ingresos	
Electricidad	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 39.935.549**
Costos	
Costos totales	-$ 33.518.640
Depreciación	$ 1.510.728
Inversión	
Valor residual Terreno	$ 400.000
FLUJO CAJA	**$ 8.327.638**

FLUJO DE FUENTES Y USOS DE FONDOS ESCENARIO NORMAL.

	0	1	2	3
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad		$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono		$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes		$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp	21.071.868			
Saldo año anterior			$ 7.231.077	$ 14.402.250
Depreciación		$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes		$ 41.446.277	$ 48.677.354	$ 55.848.528
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto	21.071.868			
Interés crédito lp		2.107.187	2.070.396	2.029.926
Amortización crédito lp		367.907	404.698	445.167
Interés crédito maquinaria				
Amortización crédito maquinaria				
Costos				
Mantención		$ 1.996.777	$ 2.056.681	$ 2.118.381
Remuneración		$ 390.000	$ 390.000	$ 401.700
Agitación y transporte purines		$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel		$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción		$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos		34.215.201	34.275.104	34.348.504
SALDO ANUAL	**0**	**$ 7.231.077**	**$ 14.402.250**	**$ 21.500.023**

	4	5	6	7
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 21.500.023	$ 28.522.194	$ 35.466.494	$ 42.330.587
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 62.946.301	$ 69.968.471	$ 76.912.771	$ 83.776.865
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.985.410	1.936.441	1.882.576	1.823.324
Amortización crédito lp	489.684	538.653	592.518	651.770
Interés crédito maquinaria				
Amortización crédito maquinaria				
Costos				
Mantención	$ 2.181.933	$ 2.247.391	$ 2.314.812	$ 2.384.257
Remuneración	$ 413.751	$ 426.164	$ 438.948	$ 452.117
Agitación y transporte purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	34.424.107	34.501.977	34.582.184	34.664.797
SALDO ANUAL	**$ 28.522.194**	**$ 35.466.494**	**$ 42.330.587**	**$ 49.112.068**

	8	9	10	11
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp			$ 7.620.000	
Saldo año anterior	$ 49.112.068	$ 55.808.457	$ 62.417.203	$ 76.555.675
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 90.558.345	$ 97.254.735	$ 111.483.480	$ 118.001.952
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.758.147	1.686.453	1.607.588	1.520.838
Amortización crédito lp	716.946	788.641	867.505	954.256
Interés crédito maquinaria				762.000
Amortización crédito maquinaria				478.120
Costos				
Mantención	$ 2.455.784	$ 2.529.458	$ 2.605.342	$ 2.683.502
Remuneración	$ 465.680	$ 479.651	$ 494.040	$ 508.862
Agitación y transporte purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	34.749.888	34.837.532	34.927.805	36.260.907
SALDO ANUAL	**$ 55.808.457**	**$ 62.417.203**	**$ 76.555.675**	**$ 81.741.046**

	12	13	14	15
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 81.741.046	$ 86.830.646	$ 91.821.602	$ 96.710.954
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 123.187.323	$ 128.276.923	$ 133.267.879	$ 138.157.232
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.425.412	1.320.444	1.204.979	1.077.968
Amortización crédito lp	1.049.681	1.154.650	1.270.114	1.397.126
Interés crédito maquinaria	714.188	661.595	603.742	540.105
Amortización crédito maquinaria	525.932	578.525	636.378	700.015
Costos				
Mantención	$ 2.764.007	$ 2.846.927	$ 2.932.335	$ 3.020.305
Remuneración	$ 524.127	$ 539.851	$ 556.047	$ 572.728
Agitación y transporte purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	36.356.678	36.455.322	36.556.925	36.661.576
SALDO ANUAL	**$ 86.830.646**	**$ 91.821.602**	**$ 96.710.954**	**$ 101.495.655**

	16	17	18	19
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 101.495.655	$ 106.172.565	$ 110.738.451	$ 115.189.981
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 142.941.933	$ 147.618.843	$ 152.184.728	$ 156.636.258
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	938.255	784.571	615.519	429.562
Amortización crédito lp	1.536.838	1.690.522	1.859.575	2.045.532
Interés crédito maquinaria	470.103	393.101	308.399	215.227
Amortización crédito maquinaria	770.017	847.019	931.720	1.024.892
Costos				
Mantención	$ 3.110.914	$ 3.204.242	$ 3.300.369	$ 3.399.380
Remuneración	$ 589.910	$ 607.607	$ 625.836	$ 644.611
Agitación y transporte purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	36.769.367	36.880.392	36.994.748	37.112.534
SALDO ANUAL	**$ 106.172.565**	**$ 110.738.451**	**$ 115.189.981**	**$ 119.523.724**

	20
Fuentes	
Ingresos netos	
Producción de electricidad	$ 22.842.742
Bonos de carbono	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989
Crédito lp	
Saldo año anterior	$ 119.523.724
Depreciación	$ 1.510.728
Valor residual predio	400.000
Total fuentes	$ 161.370.002
Usos	
Inversión activo fijo crédito proyecto	
Interés crédito lp	225.009
Amortización crédito lp	2.250.085
Interés crédito maquinaria	112.738
Amortización crédito maquinaria	1.127.382
Costos	
Mantención	$ 3.501.361
Remuneración	$ 663.949
Agitación y transporte purines	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891
Total usos	37.233.853
SALDO ANUAL	**$ 124.136.148**

VAN ESCENARIO NORMAL.

Tasa de descuento	10%			
AÑO	**GASTOS**	**INGRESOS**	**RESULTADO**	**VA**
0	21.071.868		-21.071.868	-21.071.868
1	31.740.107	41.446.277	9.706.171	8.823.791
2	31.800.010	41.446.277	9.646.267	7.972.122
3	31.873.411	41.446.277	9.572.867	7.192.236
4	31.949.013	41.446.277	9.497.264	6.486.759
5	32.026.884	41.446.277	9.419.394	5.848.702
6	32.107.090	41.446.277	9.339.187	5.271.728
7	32.189.703	41.446.277	9.256.574	4.750.086
8	32.274.794	41.446.277	9.171.483	4.278.565
9	32.362.438	41.446.277	9.083.839	3.852.435
10	32.452.712	41.446.277	8.993.566	3.467.409
11	32.545.693	41.446.277	8.900.584	3.119.601
12	32.641.464	41.446.277	8.804.814	2.805.485
13	32.740.108	41.446.277	8.706.170	2.521.867
14	32.841.711	41.446.277	8.604.566	2.265.851
15	32.946.363	41.446.277	8.499.915	2.034.812
16	33.054.154	41.446.277	8.392.124	1.826.371
17	33.165.178	41.446.277	8.281.099	1.638.371
18	33.279.534	41.446.277	8.166.744	1.468.861
19	33.397.320	41.446.277	8.048.957	1.316.069
20	33.518.640	41.846.277	8.327.638	1.237.850
	671.978.195	829.325.549	157.347.354	**VAN = 57.107.103**

VAN	**57.107.103**
TIR	**45,28%**

Punto de Equilibrio. ESCENARIO NORMAL.	Costos Fijos (CF)	$ 31.740.107
	Costos Variables (CV)	$ 1.996.777
	Ingresos Brutos (IB)	$ 39.935.549
	Total	83,66

Periodo de Recuperación del Capital (PRC). ESCENARIO NORMAL.	**PROMEDIO**	$8.920.961	
	PRC	2	AÑOS
	PROMEDIO	$3.908.949	
	PRC descontando	5	AÑOS

ANEXO 10. ESCENARIO OPTIMISTA

FLUJO DE CAJAS

AÑOS	0	1	2	3
Ingresos				
Electricidad		$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de carbono		$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante		$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos		**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**
Costos				
Costos totales		-$ 31.740.107	-$ 31.800.010	-$ 31.861.711
Depreciación		$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión	-$ 21.071.868			
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**-$ 21.071.868**	**$ 16.348.313**	**$ 16.288.410**	**$ 16.226.709**

AÑOS	4	5	6	7
Ingresos				
Electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**
Costos				
Costos totales	-$ 31.925.262	-$ 31.990.720	-$ 32.058.142	-$ 32.127.586
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 16.163.158**	**$ 16.097.700**	**$ 16.030.278**	**$ 15.960.834**

AÑOS	8	9	10	11
Ingresos				
Electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**
Costos				
Costos totales	-$ 32.199.114	-$ 32.272.787	-$ 32.348.671	-$ 32.426.831
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 15.889.306**	**$ 15.815.632**	**$ 15.739.749**	**$ 15.661.588**

AÑOS	12	13	14	15
Ingresos				
Electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**
Costos				
Costos totales	-$ 32.507.336	-$ 32.590.257	-$ 32.675.665	-$ 32.763.635
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 15.581.083**	**$ 15.498.163**	**$ 15.412.755**	**$ 15.324.785**

AÑOS	16	17	18	19
Ingresos				
Electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de carbono	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**	**$ 46.577.691**
Costos				
Costos totales	-$ 32.854.244	-$ 32.947.571	-$ 33.043.698	-$ 33.142.709
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 15.234.176**	**$ 15.140.849**	**$ 15.044.721**	**$ 14.945.710**

AÑOS	20
Ingresos	
Electricidad	$ 29.484.884
Bonos de carbono	$ 4.184.818
Fertilizante	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 46.577.691**
Costos	
Costos totales	-$ 33.244.691
Depreciación	$ 1.510.728
Inversión	
Valor residual Terreno	$ 400.000
FLUJO CAJA	**$ 15.243.729**

CUADRO DE FLUJO DE FUENTES Y USOS DE FONDOS ESCENARIO OPTIMISTA.

	0	1	2	3
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad		$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de calefacción		$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes		$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp	21.071.868			
Saldo año anterior			$ 13.873.219	$ 27.686.535
Depreciación		$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes		$ 48.088.420	$ 61.961.639	$ 75.774.955
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto	21.071.868			
Interés crédito lp		2.107.187	2.070.396	2.029.926
Amortización crédito lp		367.907	404.698	445.167
Interés crédito maquinaria				
Amortización crédito maquinaria				
Costos				
Mantención		$ 1.996.777	$ 2.056.681	$ 2.118.381
Remuneración		$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines		$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel		$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción		$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos		34.215.201	34.275.104	34.336.804
SALDO ANUAL	**0**	**$ 13.873.219**	**$ 27.686.535**	**$ 41.438.150**

	4	5	6	7
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de calefacción	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 41.438.150	$ 55.126.214	$ 68.748.820	$ 82.304.004
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 89.526.570	$ 103.214.634	$ 116.837.240	$ 130.392.424
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.985.410	1.936.441	1.882.576	1.823.324
Amortización crédito lp	489.684	538.653	592.518	651.770
Interés crédito maquinaria				
Amortización crédito maquinaria				
Costos				
Mantención	$ 2.181.933	$ 2.247.391	$ 2.314.812	$ 2.384.257
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	34.400.356	34.465.814	34.533.236	34.602.680
SALDO ANUAL	**$ 55.126.214**	**$ 68.748.820**	**$ 82.304.004**	**$ 95.789.744**

	8	9	10	11
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de calefacción	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 95.789.744	$ 109.203.956	$ 122.544.495	$ 135.809.150
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 143.878.164	$ 157.292.376	$ 170.632.915	$ 183.897.570
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.758.147	1.686.453	1.607.588	1.520.838
Amortización crédito lp	716.946	788.641	867.505	954.256
Interés crédito maquinaria				762.000
Amortización crédito maquinaria				478.120
Costos				
Mantención	$ 2.455.784	$ 2.529.458	$ 2.605.342	$ 2.683.502
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	34.674.208	34.747.881	34.823.765	36.142.045
saldo anual	**$ 109.203.956**	**$ 122.544.495**	**$ 135.809.150**	**$ 147.755.524**

	12	13	14	15
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de calefacción	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp	$ 7.620.000			
Saldo año anterior	$ 147.755.524	$ 167.241.394	$ 179.024.344	$ 190.721.885
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 203.463.944	$ 215.329.814	$ 227.112.763	$ 238.810.305
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.425.412	1.320.444	1.204.979	1.077.968
Amortización crédito lp	1.049.681	1.154.650	1.270.114	1.397.126
Interés crédito maquinaria	714.188	661.595	603.742	540.105
Amortización crédito maquinaria	525.932	578.525	636.378	700.015
Costos				
Mantención	$ 2.764.007	$ 2.846.927	$ 2.932.335	$ 3.020.305
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	36.222.550	36.305.470	36.390.878	36.478.848
SALDO ANUAL	**$ 167.241.394**	**$ 179.024.344**	**$ 190.721.885**	**$ 202.331.457**

	16	17	18	19
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884	$ 29.484.884
Bonos de calefacción	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 202.331.457	$ 213.850.419	$ 225.276.054	$ 236.605.562
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 250.419.877	$ 261.938.839	$ 273.364.474	$ 284.693.982
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	938.255	784.571	615.519	429.562
Amortización crédito lp	1.536.838	1.690.522	1.859.575	2.045.532
Interés crédito maquinaria	470.103	393.101	308.399	215.227
Amortización crédito maquinaria	770.017	847.019	931.720	1.024.892
Costos				
Mantención	$ 3.110.914	$ 3.204.242	$ 3.300.369	$ 3.399.380
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	36.569.457	36.662.785	36.758.912	36.857.923
SALDO ANUAL	**$ 213.850.419**	**$ 225.276.054**	**$ 236.605.562**	**$ 247.836.059**

	20
Fuentes	
Ingresos netos	
Producción de electricidad	$ 29.484.884
Bonos de calefacción	$ 4.184.818
Fertilizantes	$ 12.907.989
Crédito lp	
Saldo año anterior	$ 247.836.059
Depreciación	$ 1.510.728
Valor residual predio	$ 400.000
Total fuentes	$ 296.324.478
Usos	
Inversión activo fijo crédito proyecto	
Interés crédito lp	225.009
Amortización crédito lp	2.250.085
Interés crédito maquinaria	112.738
Amortización crédito maquinaria	1.127.382
Costos	
Mantención	$ 3.501.361
Remuneración	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891
Total usos	36.959.905
SALDO ANUAL	**$ 259.364.574**

VAN ESCENARIO OPTIMISTA.

Tasa de descuento	10%			
AÑO	**GASTOS**	**INGRESOS**	**RESULTADO**	**VA**
0	21.071.868		-21.071.868	-21.071.868
1	31.740.107	48.088.420	16.348.313	14.862.103
2	31.800.010	48.088.420	16.288.410	13.461.495
3	31.861.711	48.088.420	16.226.709	12.191.367
4	31.925.262	48.088.420	16.163.158	11.039.654
5	31.990.720	48.088.420	16.097.700	9.995.405
6	32.058.142	48.088.420	16.030.278	9.048.674
7	32.127.586	48.088.420	15.960.834	8.190.431
8	32.199.114	48.088.420	15.889.306	7.412.478
9	32.272.787	48.088.420	15.815.632	6.707.372
10	32.348.671	48.088.420	15.739.749	6.068.354
11	32.426.831	48.088.420	15.661.588	5.489.291
12	32.507.336	48.088.420	15.581.083	4.964.613
13	32.590.257	48.088.420	15.498.163	4.489.266
14	32.675.665	48.088.420	15.412.755	4.058.660
15	32.763.635	48.088.420	15.324.785	3.668.632
16	32.854.244	48.088.420	15.234.176	3.315.401
17	32.947.571	48.088.420	15.140.849	2.995.536
18	33.043.698	48.088.420	15.044.721	2.705.925
19	33.142.709	48.088.420	14.945.710	2.443.743
20	33.244.691	48.488.420	15.243.729	2.265.883
	$ 669.592.616	962.168.396	292.575.780	**VAN = 114.302.416**

VAN	**114.302.416**
TIR	**77,20%**

Punto de Equilibrio ESCENARIO OPTIMISTA.	Costos Fijos (CF)	$ 31.740.107
	Costos Variables	$ 1.996.777
	Ingresos Brutos (IB)	$ 42.392.873
	total	78,57

Periodo de Recuperación del Capital (PRC) ESCENARIO OPTIMISTA.	**PROMEDIO**		15.682.382
	PRC	1	AÑOS
	PROMEDIO		6.768.714
	PRC descontando	3	AÑOS

ANEXO 11. ESCENARIO PESIMISTA

FLUJO DE CAJAS

AÑOS	0	1	2	3
Ingresos				
Electricidad		$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono		$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizante		$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos		**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**
Costos				
Costos totales		-$ 31.740.107	-$ 31.800.010	-$ 31.861.711
Depreciación		$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión	-$ 21.071.868			
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**-$ 21.071.868**	**$ 8.721.518**	**$ 8.661.615**	**$ 8.599.915**

AÑOS	4	5	6	7
Ingresos				
Electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**
Costos				
Costos totales	-$ 31.925.262	-$ 31.990.720	-$ 32.058.142	-$ 32.127.586
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 8.536.363**	**$ 8.470.905**	**$ 8.403.484**	**$ 8.334.039**

AÑOS	8	9	10	11
Ingresos				
Electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**
Costos				
Costos totales	-$ 32.199.114	-$ 32.272.787	-$ 32.348.671	-$ 32.426.831
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 8.262.512**	**$ 8.188.838**	**$ 8.112.954**	**$ 8.034.794**

AÑOS	12	13	14	15
Ingresos				
Electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**
Costos				
Costos totales	-$ 32.507.336	-$ 32.590.257	-$ 32.675.665	-$ 32.763.635
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 7.954.289**	**$ 7.871.369**	**$ 7.785.961**	**$ 7.697.991**

AÑOS	16	17	18	19
Ingresos				
Electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizante	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**	**$ 38.950.897**
Costos				
Costos totales	-$ 32.854.244	-$ 32.947.571	-$ 33.043.698	-$ 33.142.709
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Inversión				
Valor residual Terreno				
FLUJO CAJA	**$ 7.607.382**	**$ 7.514.054**	**$ 7.417.927**	**$ 7.318.916**

AÑOS	20
Ingresos	
Electricidad	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560
Fertilizante	$ 12.907.989
Suma de ingresos	**$ 38.950.897**
Costos	
Costos totales	-$ 33.244.691
Depreciación	$ 1.510.728
Inversión	
Valor residual Terreno	$ 400.000
FLUJO CAJA	**$ 7.616.935**

CUADRO DE FUENTES Y USOS DE FONDOS ESCENARIO PESIMISTA.

	0	1	2	3
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad		$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono		$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizantes		$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp	21.071.868			
Saldo año anterior			$ 6.246.425	$ 12.432.946
Depreciación		$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes		$ 40.461.625	$ 46.708.050	$ 52.894.572
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto	21.071.868			
Interés crédito lp		2.107.187	2.070.396	2.029.926
Amortización crédito lp		367.907	404.698	445.167
Interés crédito maquinaria				
Amortización crédito maquinaria				
Costos				
Mantención		$ 1.996.777	$ 2.056.681	$ 2.118.381
Remuneración		$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines		$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel		$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción		$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos		34.215.201	34.275.104	34.336.804
SALDO ANUAL	**0**	**$ 6.246.425**	**$ 12.432.946**	**$ 18.557.767**

	4	5	6	7
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 18.557.767	$ 24.619.037	$ 30.614.848	$ 36.543.238
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 59.019.393	$ 65.080.662	$ 71.076.474	$ 77.004.863
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.985.410	1.936.441	1.882.576	1.823.324
Amortización crédito lp	489.684	538.653	592.518	651.770
Interés crédito maquinaria				
Amortización crédito maquinaria				
Costos				
Mantención	$ 2.181.933	$ 2.247.391	$ 2.314.812	$ 2.384.257
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	34.400.356	34.465.814	34.533.236	34.602.680
SALDO ANUAL	**$ 24.619.037**	**$ 30.614.848**	**$ 36.543.238**	**$ 42.402.184**

	8	9	10	11
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 42.402.184	$ 48.189.601	$ 53.903.346	$ 59.541.206
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 82.863.809	$ 88.651.227	$ 94.364.971	$ 100.002.831
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.758.147	1.686.453	1.607.588	1.520.838
Amortización crédito lp	716.946	788.641	867.505	954.256
Interés crédito maquinaria				762.000
Amortización crédito maquinaria				478.120
Costos				
Mantención	$ 2.455.784	$ 2.529.458	$ 2.605.342	$ 2.683.502
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	34.674.208	34.747.881	34.823.765	36.142.045
SALDO ANUAL	**$ 48.189.601**	**$ 53.903.346**	**$ 59.541.206**	**$ 63.860.786**

	12	13	14	15
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp	$ 7.620.000			
Saldo año anterior	$ 63.860.786	$ 75.719.862	$ 79.876.017	$ 83.946.764
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 111.942.412	$ 116.181.487	$ 120.337.642	$ 124.408.389
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	1.425.412	1.320.444	1.204.979	1.077.968
Amortización crédito lp	1.049.681	1.154.650	1.270.114	1.397.126
Interés crédito maquinaria	714.188	661.595	603.742	540.105
Amortización crédito maquinaria	525.932	578.525	636.378	700.015
Costos				
Mantención	$ 2.764.007	$ 2.846.927	$ 2.932.335	$ 3.020.305
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	36.222.550	36.305.470	36.390.878	36.478.848
SALDO ANUAL	**$ 75.719.862**	**$ 79.876.017**	**$ 83.946.764**	**$ 87.929.541**

	16	17	18	19
Fuentes				
Ingresos netos				
Producción de electricidad	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560	$ 3.586.560
Fertilizantes	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989	$ 12.907.989
Crédito lp				
Saldo año anterior	$ 87.929.541	$ 91.821.709	$ 95.620.550	$ 99.323.263
Depreciación	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728	$ 1.510.728
Valor residual predio				
Total fuentes	$ 128.391.167	$ 132.283.335	$ 136.082.175	$ 139.784.889
Usos				
Inversión activo fijo crédito proyecto				
Interés crédito lp	938.255	784.571	615.519	429.562
Amortización crédito lp	1.536.838	1.690.522	1.859.575	2.045.532
Interés crédito maquinaria	470.103	393.101	308.399	215.227
Amortización crédito maquinaria	770.017	847.019	931.720	1.024.892
Costos				
Mantención	$ 3.110.914	$ 3.204.242	$ 3.300.369	$ 3.399.380
Remuneración	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891	$ 21.644.891
Total usos	36.569.457	36.662.785	36.758.912	36.857.923
SALDO ANUAL	**$ 91.821.709**	**$ 95.620.550**	**$ 99.323.263**	**$ 102.926.966**

	20
Fuentes	
Ingresos netos	
Producción de electricidad	$ 22.456.348
Bonos de carbono	$ 3.586.560
Fertilizantes	$ 12.907.989
Crédito lp	
Saldo año anterior	$ 102.926.966
Depreciación	$ 1.510.728
Valor residual predio	$ 400.000
Total fuentes	$ 143.788.591
Usos	
Inversión activo fijo crédito proyecto	
Interés crédito lp	225.009
Amortización crédito lp	2.250.085
Interés crédito maquinaria	112.738
Amortización crédito maquinaria	1.127.382
Costos	
Mantención	$ 3.501.361
Remuneración	$ 390.000
Agitación y transporte de purines	$ 7.006.439
Diesel	$ 702.000
Calefacción	$ 21.644.891
Total usos	36.959.905
SALDO ANUAL	**$ 106.828.687**

VAN ESCENARIO PESIMISTA.

Tasa de descuento		**10%**		
AÑO	**GASTOS**	**INGRESOS**	**RESULTADO**	**VA**
0	21.071.868		-21.071.868	-21.071.868
1	31.740.107	40.461.625	8.721.518	7.928.653
2	31.800.010	40.461.625	8.661.615	7.158.360
3	31.861.711	40.461.625	8.599.915	6.461.243
4	31.925.262	40.461.625	8.536.363	5.830.451
5	31.990.720	40.461.625	8.470.905	5.259.766
6	32.058.142	40.461.625	8.403.484	4.743.547
7	32.127.586	40.461.625	8.334.039	4.276.680
8	32.199.114	40.461.625	8.262.512	3.854.523
9	32.272.787	40.461.625	8.188.838	3.472.867
10	32.348.671	40.461.625	8.112.954	3.127.895
11	32.426.831	40.461.625	8.034.794	2.816.146
12	32.507.336	40.461.625	7.954.289	2.534.482
13	32.590.257	40.461.625	7.871.369	2.280.055
14	32.675.665	40.461.625	7.785.961	2.050.287
15	32.763.635	40.461.625	7.697.991	1.842.838
16	32.854.244	40.461.625	7.607.382	1.655.588
17	32.947.571	40.461.625	7.514.054	1.486.616
18	33.043.698	40.461.625	7.417.927	1.334.179
19	33.142.709	40.461.625	7.318.916	1.196.701
20	33.244.691	40.861.625	7.616.935	1.132.209
	669.592.616	809.632.509	140.039.892	**VAN = 49.371.217**

VAN	**49.371.217**
TIR	**40,60%**

Punto de Equilibrio ESCENARIO PESIMISTA.	Costos Fijos (CF)	$ 31.740.107
	Costos Variables (CV)	$ 1.996.777
	Ingresos Brutos (IB)	$ 35.364.337
	total	95,12

Periodo de Recuperación del Capital (PRC) ESCENARIO PESIMISTA.	**PROMEDIO**		8.055.588
	PRC	3	AÑOS
	PROMEDIO		3.522.154
	PRC DESCONTANDO	6	AÑOS

ANEXO 12. GEOMEMBRANA DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD.

Las geomembranas son fabricadas con resinas de polietileno, especialmente formuladas y certificadas, con una densidad mínima de 0,941 gr/cc. Son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Estos productos químicos pueden actuar concentrados y/o diluidos a diferentes temperaturas.

Además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y rayos ultravioleta (UV con 2-3% negro de humo), presentan inmejorables propiedades mecánicas, su bajísima permeabilidad le permite actuar como barrera al paso de fluidos y gases.

Disponible en espesores desde 0,5 a 2,5 mm con ancho máximo de 8 m y en largos según requerimiento.

PROPIEDADES	UNIDADES DE MEDIDA	VALORES ESPECIFICOS
		ESPESOR 1,0 mm
Tensión en punto de estiramiento	KN/M	143
Elongación a la ruptura	%	700
Resistencia a la tracción	KN/M	24
Resistencia al rasgado	N	126
Resistencia a la perforación	N	320
Densidad resina	GR/CC	>0,941

FUENTE: PLASTECNIA S.A., 2009.

ANEXO 13. MOTOR GENERADOR DE ELECTRICIDAD.

El motor generador presenta a continuación sus características.

Calefactor de block motor.

Mantenedor de batería.

Panel de control digital con: - Visualizaciones de: Voltaje, corriente, frecuencia, temperatura de agua, horómetro, voltaje batería.

Protecciones para: Presión de aceite, Sobre temperatura y sobre velocidad.

Silenciador industrial.

Estanque en la base de gran autonomía con 200 litros para trabajo continuo de 34 horas al 75% de carga.

Dimensiones grupo electrógeno sin capsula 1780 x 780 x 1370 (LxAxAlto).

DATOS TÉCNICOS	**VALORES**
MODELO	A50K
POTENCIA	36 KVA
POTENCIA STAND BY	40 kVA 380/220Vac, 50Hz, 1.500 RPM.
MOTOR	Kubota, Japonés. Modelo V3300-T-BG
ALTERNADOR	Marelli, Italiano

FUENTE: EMARESA S.A., 2009.

.

ANEXO 14. PINTURA EPOXICA.

Para la protección de equipos y estructuras de acero en ambientes altamente corrosivos, se recubren con pintura epoxica. Puede ser aplicado directamente sobre acero con preparación de superficie manual o motriz. Tienen una excelente resistencia al agua dulce y salada. Se puede aplicar directamente sobre estructuras galvanizadas nuevas o antiguas y sobre pisos o muros de concreto.

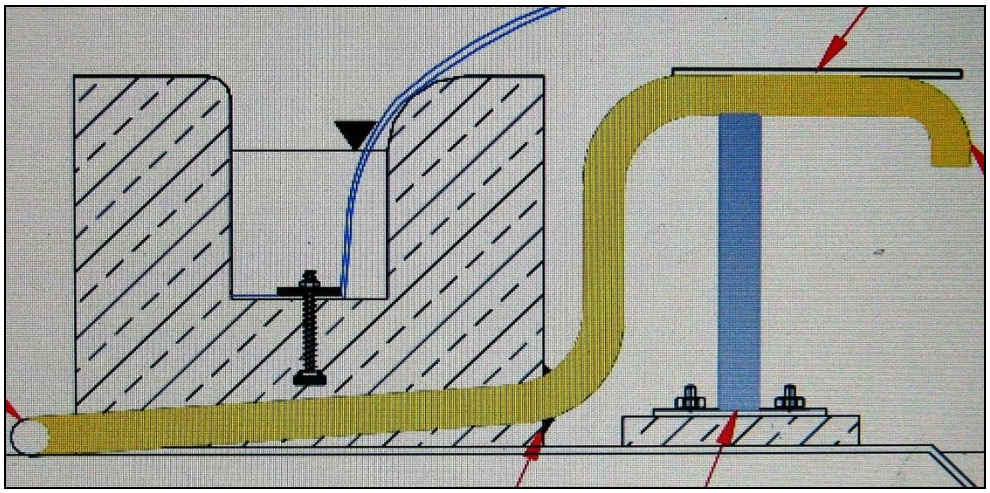
INFORMACION TECNICA:

Colores	: Amplia variedad según cartilla industrial.	
Sólidos por volumen	: 81% ± 2	
Flash point	: 26ºC	
Flexibilidad	: Buena	
Brillo	: Brillante. Pérdida de brillo expuesto a luz solar.	
Resistencia química	: Ácidos: Excelente	Álcalis : Excelente
	Sales : Excelente	Solventes: Buena
Resistencia al agua	: Excelente	
Resistencia a la temperatura	: 95º C continuo	
(Calor seco)	120º C intermitente	

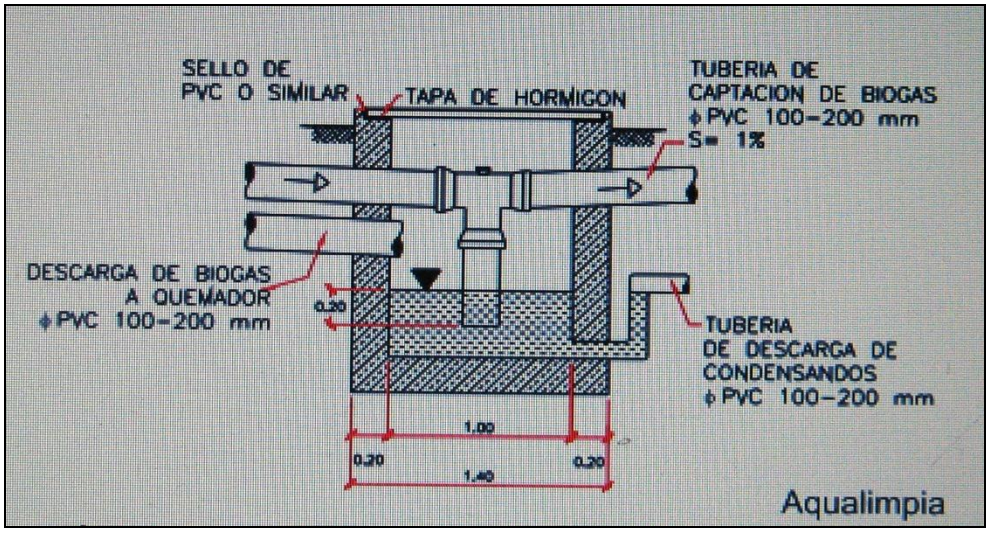
	Espesor por capas en micrones		Rendimiento teórico	
	Seco	Húmedo	m^2/L	m^2/gl
Rango de aplicación	100-500	123-620	8-1,6	31-6
Espesor recomendado	125	154	7	25

FUENTE: CERESITA S.A. (2009).

ANEXO 15. Cañería de captación de biogás que atraviesa el hormigón y trampa de agua.



FUENTE: AQUALIMPIA, 2008.



FUENTE: AQUALIMPIA, 2008.

ANEXO 16. Geomembranas utilizadas en digestores y anclaje de la geomembrana mediante platinas.

FUENTE: AQUALIMPIA, 2008.

ANEXO 17. Intercambio de calor mediante cañerías.

FUENTE: AQUALIMPIA, 2008.

ANEXO 18. Termómetro de Columna. Tipo Caldera.

Uso: Calderas, Hornos, Autoclaves, etc.
Descripción: Termómetro de vidrio, redondo, escala interior, Bulbo e Hilo de Bronce
Conexión: R / BSP (gas)

Rango ºC	Precisión ºC	Columna
-30 + 50	+- 1	Mercurio

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

FUENTE. VETO, 2008.

ANEXO 19. Manómetros Con Diafragma.

• Uso: Gases y líquidos corrosivos, fluidos contaminados o con alta viscosidad.
• Partes en Contacto con Fluido: Acero inoxidable.
• Precisión: ± 1,6% FSD.
• Temperatura Máxima Fluido: 100°C.
• Rango Operación: 100% FSD, presión estática 90% FSD, presión oscilante.

FUENTE. VETO, 2008.

ANEXO 20. Flujómetro.

• Uso para agua y otros fluidos limpios de peso específico 1,00.
• Caja aluminio.
• Partes en contacto con fluido.
• Cuerpo y Diafragma bronce.
• Temperatura de trabajo - 30... + 100º C
• Presión de trabajo 10... 180 PSI
• Precisión de trabajo ± 3% FSD

FUENTE. VETO, 2008.

ANEXO 21. Estuco aislante térmico.

El estuco térmico reviste o estuca muros interiores de albañilería de ladrillos hechos a máquina (prensado) y bloques de hormigón. Diseñado de acuerdo a las exigencias de la nueva reglamentación sobre aislación térmica en la construcción.

Beneficios

Mejora el aislamiento térmico y acústico.

Minimiza la posibilidad de condensación de vapores en muros interiores.

Ahorro de energía en calefacción durante el invierno y aire acondicionado durante el verano.

Mayor rendimiento por unidad de peso (aproximadamente el doble).

Formato de Distribución

Saco: 20 kg

Parámetros	**Valores**
Dosis de agua (NCh 1498) Saco 20 kg	8 litros
Rendimiento aproximado (NCh 1564) Saco 20 kg	22 litros
Conductividad térmica (NCh 850. Of 1983)	0,22 [W/m °C]

FUENTE: LAFARGE S.A. (2009).