



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS
RECURSOS NATURALES**

**IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR EN UN
PROYECTO DE INVERSIÓN DE CERDOS EN LA REGIÓN DE LOS
TUXTLAS VERACRUZ**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS



**DIRECCIÓN GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Presenta:

ORLANDO FACUNDO AMBROS

Chapingo, Texcoco, México

Diciembre 2013

Impacto de la implementación de un biodigestor en un proyecto de inversión de cerdos en la región de los Tuxtlas Veracruz

Tesis realizada por **Orlando Facundo Ambros** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN Economía Agrícola y de los Recursos Naturales

DIRECTOR:



Dr. Manuel del Valle Sánchez

ASESOR:



Dr. Braulio Morales Morales

ASESOR:



M. C. José Apolonio Venegas Venegas

Chapingo, Texcoco, Estado de México

Diciembre 2013

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres José y Nohemí, a mis hermanos José y Luis Enrique y en especial a mi hija Zoé, que es el motor de mi vida y por el que cada día doy lo mejor de mí.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para la realización de esta maestría y por el apoyo para la elaboración de este trabajo, durante el periodo de investigación 2011-2013.

A la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades otorgadas durante mi estancia.

De la misma manera se agradece al programa de investigación de postgrado de la DICEA-UACH, mediante el programa de la Maestría en Ciencias Económicas y de los Recursos Naturales por la oportunidad y apoyo que se brindó durante todo el periodo de estudio, a mis asesores por la paciencia y el tiempo invertido.

Finalmente agradezco a cada una de las personas que conocí durante esta etapa y que me brindaron su apoyo desinteresado y su amistad, gracias a Gladiana y Ana por sus observaciones y ayuda en este trabajo.

BIOGRAFÍA

Nombre: Orlando Facundo Ambros

Fecha de Nacimiento: 07 de marzo 1980

Lugar de Nacimiento: Catemaco, Veracruz

Correo electrónico: dreadlock47@hotmail.com

Formación académica

Ingeniero Agrónomo Especialista en Economía Agrícola Gen. 2003-2008. División de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo. Tesis: Evaluación técnico financiera del proyecto de producción de jitomate bajo invernadero “Rancho la zorra”, en la comunidad de Rio Verde, San Bartolo Soyaltepec, Oaxaca.

Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, 2011-2013. División de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo.

Experiencia laboral

- 2008: Becario del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias (INIFAP), Campus Estado de México.
- Marzo de 2009 a Mayo de 2011: Técnico consultor en Gestión y administración en la Fundación Ayú,
- Marzo a agosto de 2013: impartición de los cursos en el Telebachillerato de La Victoria, Catemaco, Veracruz.
- A la fecha: supervisor en la operación del Componente Atención a Desastres Naturales en el Sector Agropecuario y Pesquero (SAGARPA).
- Asesor de seguros en Seguro Monterrey New York Life.

IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR EN UN PROYECTO DE INVERSIÓN DE CERDOS EN LA REGIÓN DE LOS TUXTLAS VERACRUZ

IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF A BIODIGESTOR IN AN INVESTMENT PROJECT OF PIGS IN THE REGION OF TUXTLAS, VERACRUZ

Orlando Facundo Ambros¹ y Manuel del Valle²

RESUMEN

En este trabajo se midió mediante un análisis de sensibilidad, el impacto de la implementación de un biodigestor en un proyecto de inversión de cerdos. Los conceptos que se utilizaron para medir este impacto fueron el biofertilizante y el dinero ahorrado al dejar de adquirir gas licuado y sustituirlo por el biogás obtenido de los desechos. En la metodología se elaboró una corrida financiera y se calcularon los indicadores financieros; se investigaron las cantidades de desechos de cerdo capturadas en el biodigestor durante el tiempo de vida del proyecto y a partir de este dato se estimó el monto equivalente el pesos del biofertilizante; se estimó el ahorro al emplear biogás en lugar de gas LP. Los indicadores de rentabilidad obtenida se contrastaron con los de la corrida inicial y se concluyó el ahorro de biogás impacta positivamente en la economía de la granja.

Palabras clave: biodigestor, análisis de sensibilidad, producción de cerdo, biogás, carbono.

ABSTRACT

This work was measured by a sensitivity analysis, the impact of the implementation of a digester in an investment project of pigs. The concepts that were used to measure this impact were biofertilizer and the money saved when stopped buying liquefied gas being replaced by biogas from the digester. The methodology was to develop a financial run, and financial indicators were calculated, the amounts of pig waste caught in the digester were investigated during the lifetime of the digester and from this data the equivalent amount was estimated in weights of biofertilizer; savings were estimated by using biogas instead of LP gas. Profitability ratios obtained were compared to the initial run and it was concluded that income from biofertilizer sales are significant, but saving biogas has a positive impact on the economy of the farm.

Keywords: biodigester, sensitivity analysis, pork production, biogas, carbon.

¹Tesista.

²Director de tesis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS.....	5
HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA	6
ANTECEDENTES	6
1.1. ANTECEDENTES GENERALES: BIODIGESTORES	6
1.2. ANTECEDENTES INSTITUCIONALES.....	12
1.3. CONCEPTOS TEÓRICOS	16
1.3.1. Valor actual neto (VAN)	17
1.3.2. Tasa interna de retorno (TIR).....	20
1.3.3. Razón costo – beneficio (RCB).....	22
1.3.4 Punto de equilibrio (P.E.)	24
1.3.6 Biogás	27
1.4. TIPOS DE BIODIGESTORES	31
1.4.1. De campana flotante o tipo hindú.	32
1.4.2. De cúpula fija o tipo chino.....	33
1.4.3. Del tipo tubular o de Plug-flow	34
1.5. FACTORES AMBIENTALES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	35
1.5.1. PH del medio.....	35
1.5.2. Temperatura.....	36
1.5.3. Nutrientes	37
1.5.4. Problemas de toxicidad.....	38
1.5.5. Ritmo de carga.....	40
1.5.6. Tiempo de retención.....	41
CAPÍTULO II. ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y LEGISLACION	43
2.1. CAMBIO CLIMÁTICO	43
2.2. GASES DE EFECTO INVERNADERO	44
2.3. FALLAS DE MERCADO.....	46
2.3.1. Fallo de la competencia (monopolios).....	47
2.3.2. Bienes públicos.....	48
2.3.3. Externalidades	49
2.3.4. Mercados incompletos	49
Mercados complementarios	50
2.3.5. Fallas en la información	50
2.3.6 El desempleo (paro), la inflación y el desequilibrio	51
2.4 MERCADO DE BONOS DE CARBONO	51
2.4 LA REGULACIÓN LEGAL EN EL MARCO AMBIENTAL	57

2.5 LOS PERMISOS NEGOCIABLES.....	61
CAPITULO III. ESTUDIO TÉCNICO.....	68
3.1. ÁREA DE ESTUDIO	68
3.3. SITUACIÓN NACIONAL DE LA PORCICULTURA.....	72
3.3 SITUACIÓN MUNICIPAL.....	79
CAPÍTULO IV.MATERIALES Y MÉTODOS.....	83
4.1 MATERIALES	83
4.2. METODOLOGÍA.....	87
4.2.1 Cálculo de las dimensiones del biodigestor.....	89
4.2.2 Cálculo de biogás producido	90
CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSION.....	94
5.1 RESULTADOS A NIVEL REGIONAL.....	94
5.2.1 Desarrollo de la piara	97
5.2.2. Corrida final	98
5.2.3. Presupuesto de reinversiones.....	100
5.2.4. Análisis de rentabilidad	101
5.2.5. Balance general.....	102
5.3. ANÁLISIS FINANCIERO CON INGRESOS POR VENTA DE BIOFERTILIZANTE Y AHORRO.....	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS CONSULTADAS	108
ANEXOS	112

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Componentes del biogás	30
Cuadro 2. Región de los Tuxtlas	68
Cuadro 3. Temperatura y precipitación	69
Cuadro 4. Situación mundial de la producción porcina.....	72
Cuadro 5. Producción nacional de carne porcina en canal (Ton).	76
Cuadro 6. Capacidad instalada por entidades federativas.	78
Cuadro 7. Producción de carne en canal, año 2012 (Ton).	79
Cuadro 8. Ganado porcino en pie en la región de los Tuxtlas (Ton).....	79
Cuadro 9. Pesos promedios de la población porcina por municipios (kg).....	81
Cuadro 10. Población estimada por municipio (cabezas).....	81
Cuadro 11. Materiales para elaborar un biodigestor artesanal tubular	85
Cuadro 12. Precios de biodigestores	86
Cuadro 13. Relación estiércol- biogás en tres tipos de animales	86
Cuadro 14. Etapas de crecimiento en cerdos y sus promedios de desechos	87
Cuadro 15. Factor de producción final de biogás	90
Cuadro 16. Conversión del gas LP a biogás	92

Cuadro 17. Datos de la piara	98
Cuadro 18. Estado de resultados	100
Cuadro 19. Ingresos por venta de lechones	103
Cuadro 20. Ingresos extras por venta de biofertilizante y ahorro.....	103

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Participación nacional de la industria porcina en México (%).....	75
Gráfica 2. Ganado en pie en la región de los Tuxtlas (Ton), 2006-2012.....	80
Gráfica 3. Potencial de regeneración de biogás en la región de los Tuxtlas (Metros cúbicos)	95
Gráfica 4. Potencial de reducción de emisiones en la región de los Tuxtlas (Toneladas CO ₂ e).....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Biodigestores.....	32
Figura 2. Imagen frontal del biodigestor tipo hindú.....	33
Figura 3. Vista frontal de un biodigestor de cúpula fija	34
Figura 4. Esquema de un biodigestor tubular o de plug flow	35

INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de mitigar el impacto de las actividades humanas en el entorno rural hace necesario emprender medidas que disminuyan la contaminación del entorno y que a la vez incidan de manera positiva en la productividad de las granjas con actividades de traspatio. Por otra parte se hace primordial iniciar acciones que contribuyan a la disminución de gases de efecto invernadero provenientes de actividades antropogénicas y contribuir de manera positiva en el cuidado del medio ambiente.

Dentro de los alcances de este estudio está el aprovechamiento de las excretas de cerdos en granjas de traspatio para la generación de biogás, que puede ser utilizado como energía calórica o con un motogenerador producir energía eléctrica. Además de medir el impacto ambiental por la disminución de CO₂ equivalente dejado de emitir por el uso de esta tecnología.

Con este tipo de energía renovable se pueden eliminar problemas de salud pública al inhibir malos olores, flora y fauna nociva, problemas de contaminación de agua y suelo principalmente. Otra de las ventajas de los biodigestores es que se puede obtener biofertilizante, el cual es un producto muy cotizado en el mercado y de esta forma contribuir con el ingreso de la unidad de producción.

Con respecto a las limitaciones de este proyecto es que se promueve una tecnología poco conocida como son los biodigestores y que se abordan conceptos teóricos que no son familiares para las personas de las zonas rurales. Es pertinente impulsar las actividades necesarias para que gente de zonas rurales tenga acceso a tecnologías amigables al medio ambiente.

Planteamiento del problema

La actual polémica internacional acerca del calentamiento global y la evidente degradación de los recursos naturales en varios lugares del mundo sugieren la necesidad de reducir el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente sin afectar las actividades productivas. Las zonas rurales, al igual que las zonas urbanas enfrentan la problemática de la optimización de los recursos con el fin de poder satisfacer sus necesidades primarias sin tener que incurrir en externalidades negativas sobre el entorno.

Por otro lado, el crecimiento de la población y el poco impacto de las políticas gubernamentales en los hábitos sociales y las actividades de alto impacto como la agricultura y la ganadería, hacen pertinente el proponer alternativas que sean efectivas en el medio ambiente y que además sean rentables para la población.

Las actividades agropecuarias extensivas e intensivas, entre ellas las de traspatio, se convierten en un problema de salud pública si no se someten a las normas y reglamentos ambientales correspondientes. Desde esta perspectiva, las explotaciones porcinas a pesar de que representan una fuente de desechos

potencialmente aprovechables necesitan implementar técnicas y prototipos adecuados que reutilicen y hagan rentables tales desechos.

Según Mariscal (2007) la contaminación generada por una granja porcina afecta a la granja misma y al ambiente en general. Ya que en la granja se ha visto que la exposición a los gases producidos (amoníaco, sulfuro de hidrógeno, metano y bióxido de carbono) representa riesgos directos a la salud de los trabajadores y de los cerdos de la explotación.

La problemática ambiental de la región geográfica en la que se desarrolla este estudio se agudiza principalmente por las actividades agrícolas y pecuarias. A pesar de que la región de los Tuxtlas no es una zona netamente porcícola existen muchas explotaciones de cerdos de traspatio, las cuales tienden a verter los desechos en las corrientes de agua como ríos, arroyuelos o en el peor de los casos, en el lago del municipio.

La cultura ambiental de los pobladores aún es incipiente con respecto a la conservación del medio ambiente, las recientes acciones en materia de conservación han estado avocadas al ecoturismo principalmente, pero falta impulsar acciones que creen productos de los desechos de las actividades comunes de las zonas rurales.

El nivel de deterioro que actualmente tienen los recursos naturales en el país hace necesario poner en práctica acciones de conservación dirigidas a recuperarlos y a manejarlos adecuadamente con el fin de asegurar su disponibilidad futura (Mariscal, 2007).

En este sentido los biodigestores se convierten en una herramienta idónea en las explotaciones porcinas, ya que almacena el metano desprendido de los procesos anaerobios ocurridos en su interior. Este biogás puede ser aprovechado para actividades domésticas como cocinar, bañarse o en el mejor de los casos para generar energía eléctrica.

Justificación

En algunas zonas rurales de los Tuxtlas, abundan los mantos acuíferos, ríos, arroyos y lagunas; y existe una gran diversidad de recursos naturales, por lo que es importante la búsqueda de innovadoras formas de aprovechar los residuos sólidos mediante la aplicación de técnicas sustentables.

Por otra parte, el constante crecimiento de la mancha urbana sugiere la necesidad de contar con nuevas fuentes de energía que no dañen el entorno natural y que a la vez pueda contribuir al desarrollo de las comunidades rurales.

Con todo el potencial expuesto anteriormente los biodigestores son una herramienta útil para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera; para mitigar el impacto de los residuos orgánicos en los cuerpos de agua superficiales y de los mantos acuíferos; y para reducir costos dentro de las unidades de producción familiares al utilizar el biogás como fuente de energía, y el biofertilizante como fuente ingreso en las unidades de producción.

Objetivos

General

- Determinar la rentabilidad e impacto ambiental para un proyecto de inversión de una granja porcícola en la zona de los Tuxtlas, mediante la implementación de un biodigestor.

-

Específicos

- Determinar el análisis financiero por el uso de un biodigestor en una explotación porcícola en la zona de los Tuxtlas
- Medir el costo de oportunidad de implementar un biodigestor en una explotación porcícola
- Analizar el impacto ecológico de la implementación de los biodigestores en la zona.

Hipótesis

- La implementación de un biodigestor hará rentable el proyecto de inversión debido a la generación de biogás y de biofertilizante.
- Con el uso de biodigestores se reduce el impacto ambiental debido a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

ANTECEDENTES

1.1. Antecedentes generales: biodigestores

La investigación sobre los biodigestores como una alternativa de desarrollo sustentable ha tomado relevancia en distintos países del hemisferio sur principalmente, los cuales enfrentan problemas de contaminación y una creciente degradación de áreas naturales, ya sea habitables o protegidas. El manejo de los desechos orgánicos ha resultado ser una opción de desarrollo, pues a la par que reduce el impacto negativo de dichos desechos mediante su reutilización o reciclaje, también reporta ingresos en las unidades familiares.

En este sentido ha habido diversos estudios acerca de la implementación de biodigestores, principalmente de bajo costo, contruidos para explotaciones familiares. Una de estas investigaciones fue la de Martí (2008), quien menciona que los biodigestores de bajo costo se pueden implementar en proyectos con pequeños y medianos productores que críen ganado y que generen residuos orgánicos que requieran de tratamiento adecuado.

Este mismo autor señala que se pueden implementar biodigestores también en procesos agroindustriales, ya que estos generan residuos orgánicos que se pueden aprovechar. Asimismo afirma que el interés en el tratamiento de aguas residuales está aumentando pues ya se tienen experiencias en este ámbito, lo

que convierte a los biodigestores de bajo costo en una alternativa para mitigar el impacto de las actividades humanas sobre las infraestructuras sociales.

Los biodigestores de bajo costo han sido implementados en países en vías de desarrollo desde la década de los 80, en el siglo pasado. El origen de los biodigestores tubulares de bajo costo se encuentra en el modelo *barro rojo PVC* (red mud PVC) diseñado en Taiwán por Pound en el año 1981. A partir de ese diseño se desarrolló para climas tropicales el biodigestor tubular flexible de flujo continuo inicialmente por Preston en Etiopía; en el año 1987 Botero diseñó un modelo en Colombia; y en 1994 Bui Xuan An lo hizo en Vietnam. En el año 2003 Martí Herrero adaptó el diseño de Botero a climas fríos en el altiplano de Bolivia.

De esta manera, los biodigestores de bajo costo en la actualidad pueden ser implementados en todas las eco-regiones. La tecnología ha sido propuesta por diferentes instituciones en varios países como Colombia, Etiopía, Tanzania, Vietnam, Cambodia, China, Costa Rica, Bolivia, Perú, Ecuador, Argentina, Chile, México, entre otros.

Por otra parte en el estudio de Chao (2007) se menciona que desde el siglo pasado se conocía en la India y China el uso de procesos fermentativos para producir el biogás y tratar ecológicamente las excretas de animales de forma artesanal. En los biodigestores, que son las instalaciones en donde ocurren estos procesos, se obtiene además un efluente líquido cuyo valor económico como fertilizante es equivalente al del biogás. Los primeros biodigestores que

se construyeron en China y en la India fueron de cúpula fija y campana flotante, respectivamente, según este estudio, más tarde se desarrollaron otros más sencillos, rápidos de hacer y con materiales más baratos como goma, poli-vinil-cloruro (PVC), red-mud-plastic (RMP) y polietileno. Además ya en los últimos años en varios países subdesarrollados se han utilizado digestores tubulares de polietileno contruidos con materiales locales, con el objetivo de reducir los costos de producción, simplificar la instalación, su operación y su mantenimiento.

Un estudio interesante sobre el aprovechamiento de residuos animales mediante la instalación de biodigestores fue el realizado por Rivas (2008), en la Cuenca de Delicias, en el estado de Chihuahua, en él se hizo un plan de gestión que se basó en el diagnóstico del manejo y la disposición de los residuos en las explotaciones ganaderas, en la promoción del establecimiento de una cultura de aprovechamiento de los residuos a través de prácticas de manejo y en el uso de tecnologías para la gestión integral de los residuos, todo esto en la búsqueda del desarrollo sostenible de la industria lechera en la región.

Otro estudio, es el realizado en la Cuenca de Delicias por Casas (2009), el cual re realizó con el fin de determinar la factibilidad de implementar digestores anaerobios en establos de dicha región, para aprovechar y dar un uso sustentable a los residuos producidos por la importante industria lechera, en él se menciona que la generación y el uso de biogás como fuente de energía renovable es una opción rentable, pues no sólo resuelve un problema ambiental

al momento de reutilizar materia orgánica sino que permite a las instalaciones ganaderas un ahorro económico al volverse auto sustentable en energía eléctrica y/o calorífica.

De igual manera Casas (2009) menciona que el reaprovechamiento económico del metano generado por los residuos puede colaborar en la reducción de la emisión de gases invernadero. Asimismo, puede contribuir a reducir el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles lo cual trae consigo la adopción de tecnologías de acuerdo a las posibilidades de los productores para el aprovechamiento de los residuos.

La factibilidad de este estudio, según el autor, está sustentada en la posterior producción de energía eléctrica y la obtención de los bonos de carbono debido a la captura de gases invernadero como el metano producido por los desechos del ganado en los digestores anaeróbicos. Estas condiciones se convierten en una opción viable para los productores de leche de la cuenca de Delicias para lograr el desarrollo de una industria lechera ambientalmente sostenible que a la vez aproveche el potencial energético de los desechos del ganado.

Por otra parte Osorio, Velásquez y González (2007) realizaron un estudio de evaluación de un sistema en serie de dos biodigestores alimentados con excretas porcinas en el que destacan la alta capacidad de producir metano y la alta capacidad de nutrientes con respecto a las excretas de otros animales. En él se encontró una producción de biogás similar a la de biodigestores de alta tasa con una relación 3:1 entre volumen de biogás y volumen de biodigestor,

remociones promedio de DBO, DQO y SST de 97,4%, 96,1 % y 95,1% respectivamente, y pH a la salida cercanos a la neutralidad, cuyos resultados son un indicativo de la alta eficiencia del sistema tanto en producción de biogás, como en remoción de carga contaminante.

De manera general, el panorama en México con respecto a estos estudios es discreto pues aún no tienen la difusión y el impacto esperado; sin embargo, se han hecho grandes esfuerzos por poner en marcha los conocimientos que se han adquirido a través de la experiencia y los estudios en otros países, en este sentido la transferencia de tecnología se ha hecho fundamental, ya que mediante el uso correcto de técnicas y prototipos se intenta aprovechar los residuos que hasta ahora no son aprovechables y que representan un problema real de la agroindustria e incluso de las actividades familiares de traspatio.

Para analizar lo anterior, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en conjunto con el Fideicomiso de Riesgo compartido (FIRCO) elaboraron el Diagnóstico general de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México, con el propósito de conocer la situación en la que se encuentran los biodigestores anaeróbicos instalados en México.

Los resultados de este estudio muestran la existencia de 345 biodigestores, 268 fueron implementados a partir del esquema MDL, los 77 biodigestores restantes fueron implementados a partir de apoyos gubernamentales: 73 con apoyos del

FIRCO y 4 bajo la iniciativa M2M¹. Del total de los biodigestores constatados, el 82% están contruidos y en operación. La tecnología predominante de los sistemas de biodigestión son los sistemas tipo laguna (94%), continuando los modulares (4%), los de biobolsa y ferrocemento (1% cada uno)².

Una de las conclusiones de este estudio es La mayoría de sistemas instalados (317), tanto por las empresas desarrolladores, FIRCO o M2M han sido en granjas porcícolas, ello debido a que las granjas formales (granjas de más de 500 animales) de esta especie existentes en México, cumplen con las características necesarias en cuanto al inventario de animales y el volumen y calidad de las excretas.

Estos antecedentes muestran la manera en la que están ligados los biodigestores con el cambio climático, ya que se ha descrito a estos prototipos como captadores de residuos orgánicos contaminantes de ríos y mantos acuíferos, los cuales representan un problema de salud pública en el entorno donde se producen y acumulan, por otra parte también representan una alternativa de amortiguamiento del impacto de estos desechos, pues hay que tener en cuenta que todos estos restos orgánicos (restos de frutas, excretas, etc.) desprenden gases que se concentran en la atmósfera, dichos gases, conocidos como gases de efecto invernadero (GEI) contribuyen al calentamiento de la atmósfera al impedir que la radiación infrarroja no salga en su totalidad al

¹ Mercados de Metano.

² Fuente: <http://www.rembio.org.mx/2011/Documentos/Publicaciones/C2/diagnostico-nacional-de-biodigestores.pdf>

espacio exterior al rebotar en la superficie de la Tierra, lo que provoca el llamado efecto invernadero.

Este proceso es un fenómeno natural, sin embargo, como lo menciona Londoño (2006), la concentración de estos gases en la atmósfera, en parte debido a la actividad humana ha incrementado el calentamiento global, lo que ha traído un cambio climático.

En este contexto los biodigestores toman relevancia, ya que como se ha mencionado fueron diseñados para captar residuos contaminantes, pero en última instancia, su función principal es captar todo el biogás que liberan los materiales orgánicos en descomposición para su aprovechamiento, el cual está compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono en una proporción de 55-70 y 30-50% respectivamente, con pequeñas proporciones de otros componentes tales como nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno (Lorenzo- Obaya, 2005).

1.2. Antecedentes institucionales

A nivel internacional un organismo que también ha iniciado políticas a favor de la mitigación de los efectos del calentamiento global ha sido el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), quien a través de la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático (SECCI, por sus siglas en inglés) y el Sector de Conocimiento y Aprendizaje (KNL) creó la Plataforma sobre Financiamiento de Carbono para América Latina, que es un vehículo de intercambio de información, capacidades y servicios online, que sirve como punto de encuentro

para los diversos actores interesados en el financiamiento climático en América Latina y el Caribe.

Los acuerdos internacionales como el protocolo de Kyoto han pretendido impulsar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; sin embargo, en México, el mercado de bonos aún tiene un impacto discreto. Al respecto, Torres (2009) menciona que se debe tomar en cuenta que México solo se encuentra como *voluntario* en un compromiso de reducción de GEI; así que es bueno saber que, aunque no se tienen las cantidades esperadas en ingreso y emisión de Certificados de Reducción de Emisiones hechas por el Instituto Nacional de Ecología, cada vez se está haciendo más por la mitigación de gases nocivos; además de que es un tema relativamente nuevo y es necesario un mayor conocimiento de este y una mayor difusión.

La FAO, dentro de sus funciones también tiene como prioridad el cambio climático, para ello colabora con La Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) en la elaboración de documentos, revisión de documentos técnicos por medio de la participación activa de los grupos de expertos en la transferencia de tecnología del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y eventos paralelos sincronizados con las negociaciones. Así mismo trabaja en forma cercana con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC siglas en inglés).

A nivel nacional, como parte de las medidas que se están tomando para combatir el cambio climático a nivel gubernamental la Secretaría de Medio

Ambiente y de Recursos Naturales (SEMARNAT) elaboró el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) y ha puesto especial énfasis en la problemática y las medidas a tomar para el problema ambiental causado por la emisión de gases contaminantes. Por otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007- 2012 incorporó por primera vez de manera explícita el tema del cambio climático. En mayo de 2007 el ejecutivo Federal presentó su Estrategia Nacional de Cambio Climático, donde se identifican oportunidades de adaptación y de mitigación, así como un primer posicionamiento del país en relación con el régimen internacional de atención al cambio climático.

En lo que se refiere al marco legal, de acuerdo a la SEMARNAT (2008), el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 se presenta de conformidad con los objetivos nacionales, las estrategias generales y las prioridades de desarrollo establecidas por el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en el marco de los Programas Sectoriales de la Administración Pública Federal y en apego a las siguientes disposiciones jurídicas aplicables:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: específicamente los artículos 4, 25, 26, 27 y 28.

Ley de Planeación: los artículos 2, 3, 9, 12, 14, 16, 19, 20, 22, 26, 27, 28, 32 y 37.

Ley Orgánica de la Administración Pública Federal: en especial los artículos 9, 20, 28, 32, 32Bis, 33, 34, 35 y 36.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: Artículos 1, 3, 5, 15 fracciones III, IX y XII, 17, 18, 110 y 111.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera: Artículos 1, 3, 6, 7 y demás relativos y aplicables.

En diciembre de 2006 se fundó el Fondo Mexicano del Carbono (FOMECAR) que tiene como objetivos generar una cultura de reducción de emisiones de GEI; identificar y apoyar el desarrollo y registro de proyectos MDL mexicanos; promover la inversión en tecnologías limpias; constituirse como fondo vendedor; impulsar desarrollos programáticos (Regionales, Sectoriales, etc.); fomentar la investigación y desarrollo tecnológico; y ampliar cobertura hacia la Región Latinoamericana.

La introducción de los biodigestores como una herramienta alternativa de desarrollo sustentable debe considerar dentro de sus bondades, además de la mitigación de la contaminación ambiental, la reducción de costos dentro de la unidad familiar así como el costo de oportunidad, calculado este último a partir de la cuantificación de los certificados emitidos por la reducción de emisiones de GEI.

Con respecto a los certificados de bonos de emisión, en México aún es incipiente su aplicación, la necesidad de reducir el impacto de las externalidades negativas y a la vez encontrar nuevas formas de obtener ingresos hace necesario preguntarnos qué tan rentable es cuidar el medio ambiente. Desde el punto de vista económico se ha desarrollado últimamente, a la par que se hace conciencia de que la propia contaminación es rentable, la

normatividad, los acuerdos y las acciones de autorregulación por parte del sector privado.

Torres (2011) en su investigación de maestría elaboró un extenso estudio llamado «El mercado de bonos de carbono en México y los beneficios de los certificados de reducción de emisiones», en este estudio se contabilizaron los certificados de reducción de emisiones y se obtuvo su equivalente en pesos, con el fin de mostrar el impacto del mercado de bonos de carbono.

1.3. Conceptos teóricos

Un proyecto de inversión se puede describir como un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general. La evaluación de un proyecto de inversión, cualquiera que este sea, tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Solo así es posible asignar los escasos recursos económicos a la mejor alternativa (Baca, 2001).

Según Hernández (2002), dentro de la valoración y de la selección de proyectos de inversión existen el modelo que incluye el valor actual neto y la tasa interna de retorno, esto conduce a los modelos clásicos de valoración. Generalmente se acepta en el mundo de las finanzas que el criterio de la rentabilidad es el más adecuado para medir la contribución de un proyecto de inversión y financiación al objetivo empresarial.

Esto sólo es válido cuando se decida con un único criterio, o lo que es lo mismo, que se esté en condiciones de certeza lo que permitirá elegir la máxima rentabilidad. Obviamente, este planteamiento no es válido ante condiciones de riesgo e incertidumbre, Hernández (2002).

Este autor menciona que de acuerdo a Baca (1989), en condiciones de certeza, según, los modelos clásicos de valoración son:

- Valor Actual Neto (VAN).
- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Razón Costo – Beneficio (RCB).
- Índice de Rentabilidad (IR).
- Período de Recuperación (PER).
- Tasa de Retorno Contable (TRC).

Y continuación dicho autor define algunos de ellos.

1.3.1. Valor actual neto (VAN)

Es conocido también como Valor Presente Neto (VPN), se determina por la diferencia entre la sumatoria del valor actualizado de la corriente de beneficio menos la sumatoria del valor actualizado de la corriente de costos, a una tasa de actualización previamente fijada. También se puede determinar por el valor que da la sumatoria del flujo de fondos actualizados o los beneficios incrementales netos actualizados a una tasa de actualización previamente determinada. También se denomina como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos de fondos descontados a la inversión inicial (Cortés, 2006).

El VAN se define como el valor obtenido en cantidades monetarias, después de actualizar los flujos de efectivo (anuales) futuros durante la vida del proyecto y restarlos a la inversión inicial³.

O bien, como la diferencia entre el valor actual de los flujos netos de efectivo y la inversión inicial, Baca (1989).

Bien puede expresarse de la siguiente forma:

$$VAN = [\sum FNEt / (1 + i)^t] - Io$$
$$VAN = \left[\sum FNEt / (1 + i)^t \right]$$

Donde:

Σ = Sumatoria de t igual a cero hasta n periodos.

FNE = Flujo neto de efectivo en el año t.

i = Tasa de descuento (TREMA).

Io = Inversión inicial.

La tasa de descuento utilizada en el VAN tiene características particulares que vale la pena comentar. En primer lugar, esta tasa debe ser definida de acuerdo a la naturaleza del proyecto, por lo cual, se establece sobre topes mínimos, es decir, esta tasa debe ser una Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptada (TREMA) para el inversionista, Hernández (2002).

La TREMA es un elemento que puede presentar dificultades para su determinación. Al considerar lo anterior, existen varios criterios o factores a tomar en cuenta para determinarla:

- La inflación prevaleciente en la economía.

³ Fuente: http://rosama_unam.tripod.com/unidad_4.htm

- La tasa de interés sobre inversiones a largo plazo en el mercado de dinero.
- El costo ponderado de capital de las diferentes alternativas de financiamiento para el proyecto.

Cuanto más grande sea la TREMA el valor del VAN disminuye y viceversa. Esto es así, en virtud de que, cuando los flujos de efectivo se descuentan a una tasa cada vez mayor llega un punto que al descontarle la inversión inicial, el VAN se convierte negativo.

De acuerdo a Baca (1989), los criterios utilizados para decidir sobre el proyecto por este método son los siguientes:

- 1) $VAN > 0$: el proyecto se acepta.
- 2) $VAN = 0$: el proyecto se acepta o en todo caso se revisa.
- 3) $VAN < 0$: el proyecto debe ser rechazado.

La idea general es que un VAN positivo, además de recuperar la inversión inicial obtiene beneficios en términos monetarios; no obstante, un VAN igual a cero no significa que la utilidad del proyecto sea nula. Significa que proporciona una utilidad similar a otra alternativa de inversión financiera a la misma tasa, por ejemplo los CETES a largo plazo, Hernández (2012).

Las ventajas y las desventajas del VAN son:

- Considera el efecto del tiempo sobre el valor del dinero.
- Es único, independientemente del comportamiento de los flujos.
- Nos da un valor en términos monetarios.

- La única desventaja de este criterio radica en la determinación de la TREMA, ya que, no existe un método cien por ciento confiable.

1.3.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de actualización que hace que el valor actualizado de la sumatoria de corriente de beneficios se iguale a la sumatoria del valor actualizado de la corriente de costos, o como la tasa de actualización en que la sumatoria del valor actualizado del flujo de fondos o beneficios incrementales netos sea igual a cero. El cálculo de la TIR, sólo puede hacerse cuando el flujo de fondos se presenta por lo menos un valor negativo en los años iniciales del proyecto; si todos los valores son positivos, ninguna tasa de actualización podrá hacer que el valor actual del flujo de fondos sea igual a cero (Cortés, 2006).

La TIR es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado en la evaluación de proyectos. En su término más general se puede definir como la tasa de descuento que hace que el VAN = 0. La tasa interna de retorno representa en términos económicos, el porcentaje o la tasa de interés devengada sobre el saldo aún no recuperado de una inversión, Hernández (2002).

El saldo aún pendiente de una inversión puede verse como la porción de la inversión inicial que está por recuperarse después de que los pagos de intereses y los ingresos se han agregado y deducido, respectivamente, hasta el momento sobre la escala de tiempo que se ha considerado. Surge así el concepto fundamental de la tasa interna de retorno (TIR). Es la tasa de interés

producida por el saldo aún no recuperado de una inversión, de manera que el saldo restante al finalizar la vida de la inversión es igual a cero.

De acuerdo a lo anterior, la TIR, matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$0 = [\sum FNE_t / (1 + i^*)^t] - I_0 = VAN = 0$$

donde:

Σ = Sumatoria de t igual a cero hasta n períodos.

FNE = Flujo neto de efectivo en el año t.

i^* = Tasa interna de retorno (TIR).

I_0 = Inversión inicial.

El cálculo de la tasa interna de retorno, si se realiza manualmente, requiere por lo general una solución de ensayo y error que haga que el VAN se iguale a cero, Hernández (2002).

Para un mismo proyecto, al utilizar el VAN y la TIR, la decisión debe ser siempre la misma, es decir, si la TIR es mayor que la TREMA, entonces el VAN es mayor que cero. Por el contrario, si la TIR es menor que la TREMA, entonces el VAN es menor que cero. Por consiguiente, es obvia su equivalencia como criterios de evaluación. De acuerdo con el criterio de la TIR que mencionas Baca (2012) existen tres resoluciones aplicables a cualquier proyecto:

- 1) Si la TIR > TREMA: el proyecto debe ser aceptado.
- 2) Si la TIR = TREMA: el proyecto se acepta o en todo caso se revisa.

3) Si la TIR < TREMA: el proyecto debe ser rechazado.

Las ventajas y desventajas de la TIR son las siguientes:

- Es un indicador propio del proyecto.
- No se necesita conocer una tasa de interés con el fin de determinar la TIR como sucede con el VAN.
- Muestra la tasa máxima a la que el proyecto debe contraer sus créditos.
- Para situaciones de inversión en las cuales el conocimiento sobre el futuro y sobre las tasas futuras de interés sea altamente incierto, la TIR puede constituir una forma aceptable y fácil para comparar la rentabilidad económica de alternativas de inversión.
- La principal desventaja se presenta cuando los flujos de efectivo muestran un comportamiento irregular, es decir, que existan flujos positivos y negativos de forma desordenada. En estos casos, pueden existir varias TIR por lo cual no puede llegarse a una conclusión certera sobre el proyecto.

1.3.3. Razón costo – beneficio (RCB)

Baca (1989) señala que la razón costo – beneficio se define como una razón porcentual entre los ingresos y egresos generados por el proyecto. Es un indicador que nos dice cuánto gana el proyecto por cada peso invertido en el mismo.

Matemáticamente se expresa como sigue:

$$RCB = [\sum Y_t(1+i) - t] / [\sum E_t(1+i) - t]$$

donde:

Σ = Sumatoria de t igual a cero hasta n.

Y_t = Ingresos en el año t.

E_t = Egresos en el año t.

La actualización de los ingresos y de los egresos se realiza a partir del año 0, esto es así, debido a que se considera la inversión inicial como un egreso en el año 0.

En realidad este criterio en relación al VAN proporcionan igual información. Cuando el VAN es cero la RCB es igual a 1. Si el VAN es positivo la RCB es mayor que 1.

Finalmente, si el VAN es negativo la RCB será menor que 1. Ante esto los criterios de decisión serán:

$RCB > 1$: el proyecto debe ser aceptado.

$RCB = 1$: el proyecto se acepta o en todo caso se revisa.

$RCB < 1$: el proyecto no tiene sentido económico.

Las ventajas y desventajas de la razón costo – beneficio de acuerdo a Baca (1989) son:

Considera el valor actual de los ingresos y egresos en base a la TREMA, es decir, es un criterio dinámico.

Es coherente con el VAN y la TIR, es decir, al utilizar estos tres criterios la decisión sobre un proyecto debe ser la misma.

Muestra la rentabilidad de la inversión total del proyecto (inicial y de producción) y no solamente en relación a la inversión inicial como lo presupone el índice de rentabilidad.

Es necesario realizar dos actualizaciones en lugar de una, por lo tanto, es más laborioso.

No muestra un valor concreto en términos monetarios, pero sí, un porcentaje sobre cada peso invertido durante toda la vida del proyecto.

1.3.4 Punto de equilibrio (P.E.)⁴

Una de las herramientas administrativas de mayor importancia, fácil de aplicar y que nos provee de información importante es: "El punto de equilibrio. " Esta herramienta se emplea en la mayor parte de las empresas y es sumamente útil para cuantificar el volumen mínimo a lograr (ventas y producción), para alcanzar un nivel de rentabilidad (utilidad) deseado.

El Punto de equilibrio es aquel en el que los ingresos son iguales a los costos, esto es, en el que se obtiene un beneficio igual a cero. La empresa no tiene beneficios ni pérdidas.

El punto de equilibrio lo podemos clasificar de la siguiente manera:

Punto de equilibrio económico.

⁴ Fuente: http://www.ingenieria.unam.mx/~materia/cfc/costos_punto.html, consultado en junio de 2013

Punto de equilibrio productivo.

El punto de equilibrio económico y productivo, representan el punto de partida para indicar cuantas unidades deben de venderse si una compañía opera sin pérdidas.

Cálculo del punto de equilibrio

De acuerdo con la definición: $PE = IT - CT = 0$ (1)

Por tanto: $IT = CT$ (2)

Que representan las literales:

PE = Punto de Equilibrio, beneficio igual a cero.

IT = Ingresos Totales.

CT = Costos Totales, se encuentran formados por la suma de los costos fijos (CF) y los costos variables (CV).

Los Costos fijos, son aquellos en los que incurre la empresa independientemente del nivel de actividad, o del nivel de producción.

Los Costos variables son aquellos que varían proporcionalmente al volumen de ventas, es decir varían en función del nivel de producción. Si la producción aumenta estos costos aumentan, por el contrario, si disminuye la producción estos costos se reducen también. Literalmente se expresaría de la siguiente manera:

$$IT = CT$$

$$CT = CF + CV$$

$$\text{Por lo tanto: } IT = CF + CV$$

Para aplicar las fórmulas de punto de equilibrio es importante que conozcamos el total de los costos fijos, pero también el precio de venta del producto o bien producido, el volumen de producción y el costo variable unitario, este último resulta de dividir el costo variable total entre el número de unidades producidas, representados de la siguiente manera:

$$CFt = \text{Costo Fijo Total}$$

$$PVu = \text{Precio de Venta Unitario}$$

$$CVu = \text{Costo Variable unitario}$$

Aplicando las Fórmulas:

Para determinar el Punto de Equilibrio en Ingresos:

$$P.E.I = CFt / (1 - CVu / PVu)$$

Para determinar el Punto de Equilibrio en Unidades Producidas:

$$P.E.U.P = P.E.I / PVu$$

Donde:

P.E.I. = Punto de Equilibrio en Ingresos

PVu = Precio de Venta Unitario

1.3.6 Biogás

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocido como «biogás» y a una suspensión acuosa o «lodo» que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica, Lorenzo & Obaya (2005).

De acuerdo a estos autores, la materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de hojas y hierbas, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales. El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, que es una mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y de dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del procesos en sí.

La cantidad de biogás producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido de metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción

y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos (Lorenzo-Obaya, 2005).

Por otra parte la Asociación Colombiana de porcicultores a través del manual llamado “Valorización del Estiércol de cerdo a través de la producción de Biogás” menciona que el biogás es un producto de la fermentación anaeróbica, está compuesto por una mezcla de gases principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Se estima que la producción de biogás a partir del estiércol de un cerdo adulto es de 0.28 a 0.34 m^3 de biogás.

El m^3 de biogás puede reemplazar 0.46 kg de gas propano, 0,7 litros de gasolina, 0,6 litros de ACPM ó 2 kg de leña, lo que previene en gran medida la destrucción de los bosques. Se ha calculado que 1 m^3 de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse, 1989).

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 1.25 kw / h de electricidad
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m^3 de capacidad durante 1 hora
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m^3 de capacidad durante 30 minutos
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas

Este manual agrega que el metano es la base energética del biogás y a diferencia del gas butano y propano no se acumula a ras del suelo, disminuyendo los peligros de explosión, además de que es inodoro e incoloro.

Según Chao (2008), un biodigestor es una instalación donde ocurren procesos fermentativos bajo condiciones anaeróbicas, para obtener biogás y tratar ecológicamente las excretas de animales de forma artesanal. En estos dispositivos también se obtiene un efluente líquido cuyo valor económico es equivalente al del biogás.

Para las comunidades rurales es más práctico no ocuparse de la remoción del dióxido de carbono. En general los campesinos prefieren un gas menos eficiente que tener tiempo ocupado en el control del mismo, por lo que en las pequeñas granjas esta labor se considera innecesaria. Para grandes plantas de biogás y otras específicas donde los aspectos técnicos son menos onerosos existen justificaciones económicas para la purificación, “Valorización del Estiércol de cerdo a través de la producción de Biogás”.

Funk⁵ (2007) menciona que los digestores anaeróbicos no son una nueva tecnología, ya que han sido usados a escala de granja por muchos años en países en desarrollo. Sin embargo se han hecho mejoramientos en los digestores para que sean más compactos, de costo reducido y que sean más fáciles de manejar. Algunos progresos se han realizado, pero a la fecha no hay «un tamaño óptimo de digestor que se ajuste a todos» los establos lecheros.

⁵ Citado por Casas et. al. (2011)

Cada situación es única, y un análisis de diseño debe ser llevado a cabo antes de decidir su construcción.

Cuadro 1. Componentes del biogás.

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depuradora	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	20-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0.5-100 ppm
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-20%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm(terpenos, esteres.

Fuente: Lorenzo- Obaya, 2005

EPA⁶ (2006) que menciona que «la mayoría de los sistemas comerciales que actualmente están operando son de flujo pistón convencionales, flujo pistón verticalmente mezclado, reactores de mezcla completa y lagunas cubiertas que operan a temperatura ambiente. El método de digestión tipo laguna produce biogás de desechos diluidos tal como el efluente de la sala de ordeña y es muy comúnmente utilizado por ser de los más económicos.

Aunque la mayoría de los sistemas están utilizando solo estiércol del ganado, existen nuevas tecnologías emergentes que incluyen la introducción de

⁶ Citado por Casas et. al. (2011)

desechos orgánicos de alta fuerza para incrementar la producción de gas por unidad de volumen de reactor.

1.4. Tipos de biodigestores

La clasificación de biodigestores difiere de acuerdo a las zonas o países en donde se han estudiado o implementado. Sin embargo la estructura principal es la misma, ya que tienen como principal objetivo el acumular residuos orgánicos y capturar biogás. Dentro de esta clasificación están los de flujo continuo, que como su nombre lo indica, drenan constantemente la entrada y salida de residuos orgánicos; y los de flujo discontinuo, que solo acumulan residuos hasta cierto límite y se vacían una vez que la materia contenida en ellos se haya degradado y capturado el biogás.

El costo de los digestores anaeróbicos para la producción y utilización de biogás variará con el tipo y tamaño del sistema, tipo de operación ganadera y condiciones específicas del sitio (Bothi y Aldrich, 2005); los costos también variarán de acuerdo a la región o país donde se construyan, ya que el costo de los materiales para su construcción está afectado por la inflación de cada país.

El tipo de digestor acorde a cada situación debe ser cuidadosamente escogido y se debe tomar en consideración el aspecto económico, la complejidad de su operación, la forma en que se van a recuperar los desechos y las condiciones climáticas de la región (Anders, 2007).

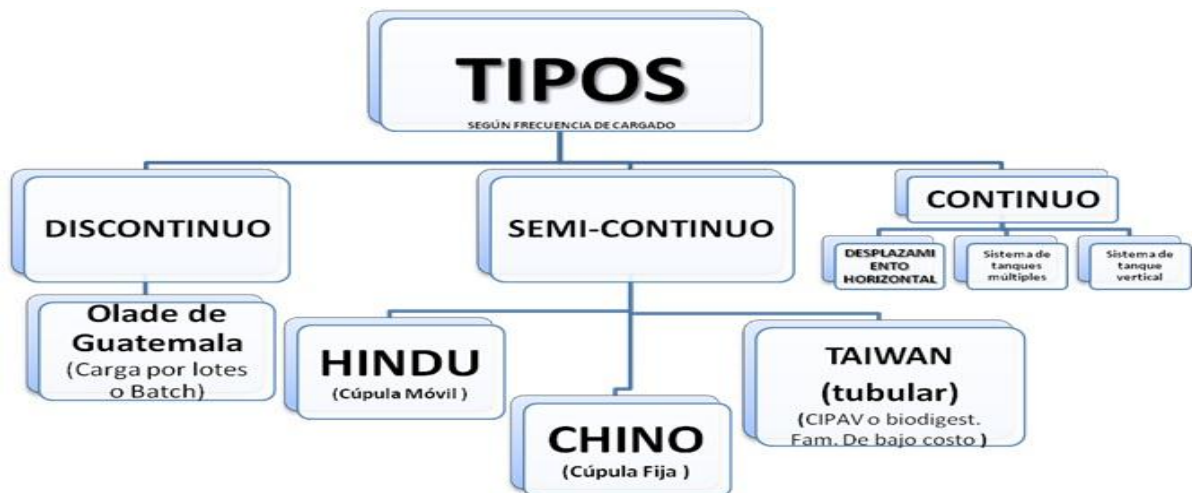


Figura 1. Tipos de biodigestores

Fuente: <http://bio-digestores.blogspot.mx/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>

Según el Instituto de Investigaciones Porcinas (2007), de Cuba, los biodigestores más utilizados en la agricultura son los de régimen semi continuo, que de acuerdo a su principio de funcionamiento y construcción pueden ser:

1.4.1. De campana flotante o tipo hindú.

Este tipo de biodigestor está compuesto principalmente por una campana de acero que flota sobre el digestor, a medida que el biogás ejerce presión la misma sube almacenando el gas producido, además dispone de depósito para la recepción de los residuales y tuberías de entrada y salida. A diferencia de la campana, el resto de los materiales que se utilizan en su construcción son materiales convencionales. La tecnología KVIC emplea diversos materiales para la campana como: ferro cemento, fibra de vidrio, de polietileno de alta densidad,

de PVC, de láminas rígidas de PVC y hasta de cemento y bambú. Esta variante se construye de forma vertical u horizontal.

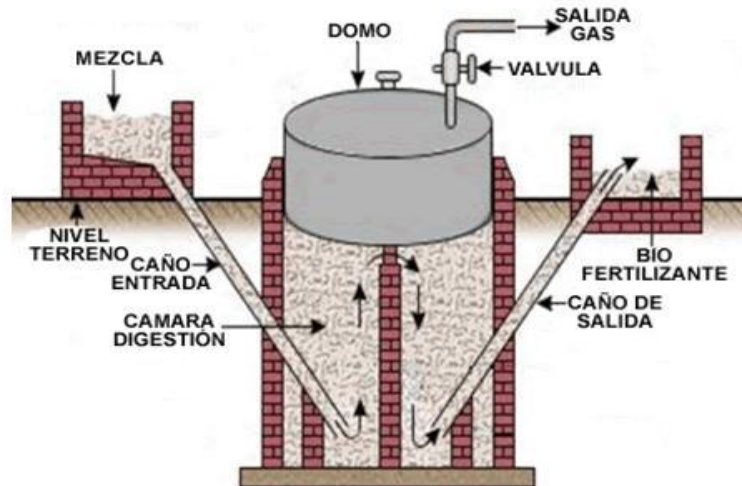


Figura 2. Imagen frontal del biodigestor tipo hindú

Fuente: tomada de la página <http://bio-digestores.blogspot.mx/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>.

1.4.2. De cúpula fija o tipo chino

Tienen un diseño básico en el que el biogás es colectado en una cúpula fija. Este tipo de biodigestor está compuesto por un registro de carga, el digestor y un tanque de compensación. En el instituto se diseñaron un grupo de biodigestores de este tipo con diferentes capacidades de volumen de residual: 8,12, 22, 35, 48,70 y 90 m³ para el tratamiento del residual porcino en pequeñas y medianas producción. Este modelo se construye el cilindro con bloques de hormigón y la cúpula con ladrillos de barro.

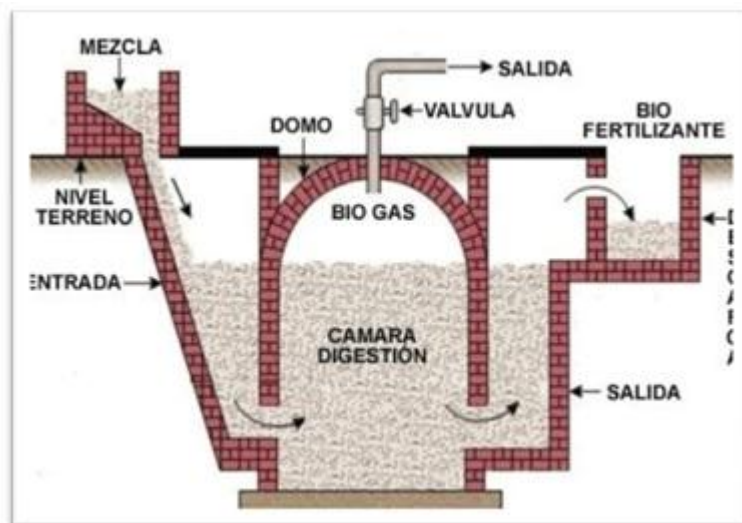


Figura 3. Vista frontal de un biodigestor de cúpula fija

Fuente: <http://bio-digestores.blogspot.mx/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>

1.4.3. Del tipo tubular o de Plug-flow

Esta variante es fabricado de goma, polietileno o Red-Mud-Plástico (RMP). Este último material fue desarrollado por primera vez en Taiwán y después en China donde ha demostrado cualidades excelentes para ser usado en los biodigestores. Este material producido en forma laminar es una mezcla de lodos rojos residuales de la extracción de la bauxita y contiene PVC, plasticador, estabilizador y otros ingredientes. Al principio los digestores de RMP se hacían tubulares, más tarde se construyeron en forma de tiendas de campaña. También de esta forma se han construido biodigestores en Nepal, pero de PVC. Este sistema es sencillo y económico, apropiado para las granjas pequeñas. Posee tuberías de entrada y salida de los residuales y como elemento fundamental una bolsa de polietileno que sirve de digestor.

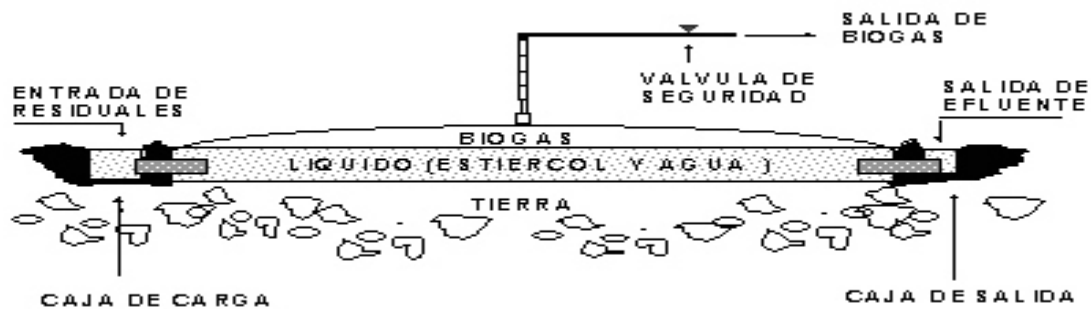


Figura 4. Esquema de un biodigestor tubular o de plug flow

Fuente: Fundación CIPAV.

1.5. Factores ambientales en la digestión anaerobia

Después de definir de manera general la estructura de los biodigestores, es necesario considerar varios factores ambientales que influyen en el proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica, como el pH, la temperatura, disponibilidad de nutrientes, presencia de sustancias tóxicas, tiempo de retención y ritmo de carga. El boletín Técnico porcino del Instituto de Investigaciones Porcinas (2007), menciona algunas características que deben considerarse en la implementación de los biodigestores.

1.5.1. PH⁷ del medio

El valor óptimo de pH está en el rango de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que se producen durante el proceso de digestión reducen

⁷ La forma aceptada para definir potencial de hidrógeno es pH, pero en este caso se escribe con mayúscula por ser la primera palabra del párrafo.

el pH en la fase líquida del digestor. Si las bacterias metanogénicas no pueden convertir los AGCC tan rápidamente como son formados por las bacterias acetogénicas, los AGCC se acumularán y causarán un descenso en el pH del medio. Sin embargo, el equilibrio CO/HCO_3^- en el digestor ejerce una resistencia sustancial a los cambios de pH.

Cuando se presenta un desbalance de pH en un biodigestor hay dos modos operacionales para corregir esa condición. La primera forma es detener la carga del biodigestor y permitir durante cierto tiempo que la población metanogénica reduzca la concentración acídica y que entonces el pH se eleve a un valor razonable, pero esta operación a su vez enlentece la actividad bacteriana, reduciendo de esta forma la formación de AGCC. Un segundo método involucra la adición de sustancias tampones o buffer para elevar el pH sin cambiar el ritmo de carga del digestor. Una ventaja de la adición de tampones es que el pH puede rectificarse más rápidamente. Se suele usar para ello la cal. El carbonato de sodio, aunque es más caro, puede prevenir la precipitación de carbonato de calcio.

1.5.2. Temperatura

La velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas se incrementa normalmente cuando se eleva la temperatura. Una temperatura muy alta puede causar una declinación en el ritmo metabólico del proceso, debido a la degradación de las enzimas que son esenciales para la vida celular. Los microorganismos tienen un crecimiento y ritmo metabólico óptimos dentro de un

rango de temperatura muy bien definido, y que es específico para cada especie bacteriana. Particularmente, el límite superior depende de la termoestabilidad de las moléculas de proteína sintetizadas por cada tipo particular de organismo.

Se han detectado dos regiones de temperatura para la digestión de las excretas. El primer rango es apropiado para la vida de las bacterias mesofílicas (de 20 a 45°C) y el segundo rango es característico de bacterias termofílicas (de 35 a 55°C). Una ventaja de una digestión termofílica es que el ritmo de producción de metano es aproximadamente el doble de una digestión mesofílica. Por consiguiente, los biodigestores termofílicos pueden tener la mitad del volumen de uno mesofílico, y aún mantener así la misma eficiencia en el proceso. Se han llevado a cabo muchos estudios de procesos termofílicos en países de la zona templada del mundo.

Sin embargo, con excretas y residuos fecales que están a temperatura ambiente, se necesita considerable energía para elevar la temperatura de este material hasta 55°C. Por lo tanto, los estudios sobre la digestión termofílica pueden ser de menor interés en países tropicales, especialmente en áreas rurales, donde la disponibilidad de energía es escasa o un factor limitante para cualquier actividad.

1.5.3. Nutrientes

Junto con una fuente de energía en forma de carbono orgánico, los microbios requieren nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que originan efectos complejos. El nivel de nutrientes para la microflora debiera ser por lo menos

superior al valor óptimo, desde el punto de vista de las concentraciones requeridas para las bacterias metanogénicas, puesto que este grupo de microorganismos se inhibe severamente con una deficiencia ligera de nutrientes.

Sin embargo, la deficiencia nutritiva no debiera ser un problema cuando se suministran alimentos combinados a los animales, puesto que los distintos materiales que se fermentan en el biodigestor tienen diferentes composiciones químicas, la producción de biogás se producirá a distintos ritmos. Se ha informado que el gas producido por distintos tipos de cargas, los materiales con alto contenido de nitrógeno, tales como las excretas de animales, se descomponen fácilmente y producen biogás de una forma rápida; por lo tanto, el período fermentativo es corto. La descomposición de materiales con un alto contenido de carbono es más lento, pero el período fermentativo es más largo. Los materiales con diferentes proporciones de carbono/nitrógeno (C/N) difieren ampliamente en sus rendimientos en biogás. El valor C/N para la excreta porcina es bajo, mientras que en la paja de arroz es alto. Aunque las condiciones de fermentación y el monto de sólidos totales en ambos tipos de materiales era el mismo, se halló una diferencia de 58-105% en la producción de biogás.

1.5.4. Problemas de toxicidad

Los compuestos tóxicos, aún en concentraciones bajas, influyen negativamente en el proceso de digestión al disminuir la velocidad del metabolismo de la

microflora. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque en general todos los grupos de microorganismos que participan en el proceso son afectados.

Debido a su lento crecimiento, la inhibición de las metanobacterias puede llevar a un fallo completo en el proceso en sistemas mixtos, debido a un desbalance en la población bacteriana. Los dos principales indicadores de que hay algún tipo de inhibición en el proceso son la disminución en la producción de metano y un incremento en la concentración de AGCC en el medio.

En el caso del nitrógeno, es muy importante mantener un nivel óptimo en su concentración para que el biodigestor opere satisfactoriamente. Un desbalance consistente en un contenido alto de nitrógeno y una baja disponibilidad de energía causa una toxicidad por una indebida generación de amoníaco. Usualmente, los niveles de amoníaco deben mantenerse por debajo de 80 ppm, pero a concentraciones excesivamente altas, como entre 1500 y 3000 ppm, el amonio aún puede tolerarse en el medio.

También se ha informado que los primeros síntomas de inhibición en el proceso se han detectado con concentraciones de amoníaco de 8000 ppm. Deben tomarse precauciones para evitar la entrada en el biodigestor de ciertos iones metálicos, sales, sustancias bactericidas o sintéticas.

1.5.5. Ritmo de carga

Se calcula el ritmo de carga como el total de materia seca (MS) o materia orgánica (MO) que se introduce diariamente en el biodigestor, en términos del volumen de su fase líquida, expresada en metros cúbicos. La MO o sólidos volátiles (SV) se refieren a la parte de los sólidos totales (ST) que se volatilizan durante la incineración o reducción a cenizas de toda la materia orgánica.

En teoría, la MO contiene todos los compuestos orgánicos que pueden convertirse en metano. Normalmente, las excretas animales suelen tener una concentración de MS por encima del 10%.

Puesto que los requerimientos de operación de un reactor anaerobio establecen que el contenido total de MS en la carga no puede exceder este valor de 10%, en muchos casos, los desperdicios de la granja deben diluirse antes de cargar el biodigestor.

Para determinar el contenido de MO en las excretas animales, se suele a menudo determinar la demanda química de oxígeno (DQO) o la demanda biológica de oxígeno (DBO). La DQO es la cantidad, en mg, de oxígeno consumido para la oxidación, mediante un oxidante fuerte, de las sustancias reductoras presentes en un litro de muestra de material de desperdicio o excreta.

Se usa la DQO para mostrar el grado en que el agua está contaminada. El cambio de valores de la DQO antes y después del proceso fermentativo puede indicar la eficiencia del proceso.

1.5.6. Tiempo de retención

Debido a que el proceso de producción de gas es lento, mientras más tiempo estén las sustancias descargadas en el biodigestor, mayor será la producción de gas en términos absolutos por unidad de sustrato. Hay dos índices para identificar la retención de las sustancias en el digestor. El tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRS) se determina al dividir el monto de MO o SV cargados en el digestor, entre la cantidad de MO que sale del sistema diariamente.

Se asume que el TRS representa el tiempo de retención promedio de los microorganismos en el digestor. El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la proporción entre el volumen del reactor o digestor, dividido por la carga diaria. Estos índices son importantes en los digestores de última generación. Por otra parte, en condiciones de granja es más práctico medir el TRH que el TRS por razones obvias.

La retención de materiales dentro del biodigestor es un proceso importante y necesario del que se pueden sacar ciertos beneficios, pues la materia orgánica resultante después del proceso anaerobio en el que se produce biogás puede ser utilizada como biofertilizante, que en grandes cantidades incluso puede ser comercializado.

El tema de los biodigestores es flexible desde el punto de vista tecnológico y de funcionalidad, ya que pueden implementarse prototipos con diseño y capacidad industrial para manejar grandes cantidades de residuos, pero también se pueden construir modelos de tipo artesanal con materiales domésticos capaces de aprovechar los desechos de las granjas o fincas que tengan actividades de traspatio.

Los biodigestores, como parte de las tecnologías alternativas, no es una alternativa solo de mitigación y de disminución de la contaminación por residuos y desechos orgánicos, también representa una vía para reducir costos de producción y contribuir al beneficio de la economía familiar.

CAPÍTULO II. ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y LEGISLACION

CONCEPTOS TEÓRICOS FUNDAMENTALES

2.1. Cambio climático

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) el cambio climático es un fenómeno que se manifiesta en un aumento de la temperatura promedio del planeta, directamente vinculada con el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, producto de actividades humanas relacionadas con la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón) y el cambio de uso de suelo (deforestación). Este aumento de la temperatura tiene consecuencias en la intensidad de los fenómenos del clima en todo el mundo.

El cambio climático también es definido como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Pudiera ser un cambio en las condiciones climáticas promedio o la distribución de eventos en torno a ese promedio (por ejemplo más o menos eventos climáticos extremos). El cambio climático puede estar limitado a una región específica, como puede abarcar toda la superficie

terrestre⁸. El término, a veces se refiere específicamente al cambio climático causado por la actividad humana, a diferencia de aquellos causados por procesos naturales de la Tierra y el Sistema Solar. En este sentido, especialmente en el contexto de la política ambiental, el término “cambio climático” ha llegado a ser sinónimo de “calentamiento global antropogénico”, o sea un aumento de las temperaturas por acción de los humanos.⁹

2.2. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero son gases que provocan que la radiación infrarroja se detenga en la atmósfera, por lo que se calientan la superficie de la Tierra y la parte inferior de la atmósfera. Han estado presentes en la atmósfera en cantidades residuales en gran parte de la historia de la Tierra. El vapor de agua, debido a su abundancia, es el gas natural de efecto invernadero más importante. El dióxido de carbono (CO₂), el gas de efecto invernadero en segundo lugar de importancia, se agrega a la atmósfera tanto de modo natural como antropogénico, Echeverri (2006).

El Metano, es un gas hidrocarburo que tiene origen natural y resultado de actividades humanas, que incluyen la descomposición de rellenos sanitarios, la agricultura (en especial el cultivo de arroz), la digestión de rumiantes y el manejo de desechos de ganado y animales de producción. Es un gas más activo que el dióxido de carbono, aunque menos abundante.

⁸ Fuente: <http://cambioclimaticoglobal.com/>, consultado el 28 de agosto de 2013

⁹ Fuente <http://cambioclimaticoglobal.com/que-es-el-cambio-climatico.>, consultado agosto de 2013.

Óxido nitroso, gas invernadero muy poderoso que se produce principalmente a través del uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la quema de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la quema de biomasa.

Los Clorofluorocarbonos (CFCs), son compuestos sintéticos de origen industrial que fueron utilizados en varias aplicaciones, ahora ampliamente regulados en su producción y liberación a la atmósfera para evitar la destrucción de la capa de ozono.

De los anteriores no todos son considerados dentro de las políticas ambientales de mitigación del cambio climático, ya que solo se toman en cuenta los que tienen naturaleza antropogénica, es decir, los gases que son productos de las actividades del hombre, los cuales se mencionan en el Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre (Solorzano, 2003).

Asociado a estos gases está el concepto de dióxido de carbono equivalente (Carbon Dioxide Equivalent (CO₂e)) que es una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero. Es usado para evaluar los impactos de la emisión (o evitar la emisión) de diferentes gases que producen el efecto invernadero. La “posibilidad de calentamiento global”, de los tres gases con efecto invernadero asociados con la silvicultura son los siguientes: dióxido de carbono, que persiste en la atmósfera entre 200 a 450 años, es definido como un potencial 1 del calentamiento mundial; el metano, persiste en la atmósfera

entre 9 a 15 años y tiene un potencial de calentamiento global 22 (tiene 22 veces la capacidad de calentamiento del dióxido de carbono); y el óxido nitroso, que persiste por unos 120 años y tiene un potencial de calentamiento global 310. La concentración actual de gases con efecto invernadero tiene una capacidad de calentamiento equivalente a una concentración cercana a 472 partes por millón, lo cual es lo suficientemente caliente para incrementar la temperatura más de 2° C¹⁰.

A continuación se muestra una tabla de componentes del biogás de acuerdo al sustrato utilizado.

2.3. Fallas de mercado

Cuando existe un fallo de mercado, implica que no se están cumpliendo las condiciones de los teoremas del bienestar, es decir que la libre operación de los mercados no obtiene asignaciones eficientes en el sentido de Pareto. En otros casos, aun cuando se obtengan asignaciones eficientes, la intervención puede justificarse por otros motivos. De acuerdo a Stiglitz (1992), hay seis circunstancias o condiciones en las que el mercado no es eficiente en el sentido de Pareto. Se denominan fallos de mercado y sirven para justificar la intervención del Estado:

¹⁰ Fuente: <http://es.mongabay.com/rainforests/carbono-lexico/Dioxido-de-carbono-equivalente.html>. Consultada en septiembre

2.3.1. Fallo de la competencia (monopolios)

En algunas industrias, como por ejemplo, la automovilística, o en el caso de México en el sector de las telecomunicaciones, existen relativamente pocas empresas que dominan una gran parte del mercado, lo que indica la ausencia de una fuerte competencia. Sin embargo, la mera presencia de unas pocas empresas no implica necesariamente que éstas no actúen competitivamente. Si hay un gran número de empresas que pudieran entrar en el mercado, es posible que las ya existentes no puedan actuar monopolísticamente, ya que tan pronto como intenten obtener beneficios monopolísticos cabe la posibilidad de que entren otras empresas en el mercado y presionen a la baja sobre el precio de venta.

Otra situación que conlleva fallo de la competencia es cuando los costos de producción son elevados, es posible que el mercado en cuestión sea pequeño desde el punto de vista geográfico. Si sólo existe una empresa en una determinada área, la competencia puede ser nula (o escasa).

Otra dificultad para saber si un mercado es competitivo la constituye el problema de definir el mercado mismo. Mientras por otro lado, algunos monopolios son creados por el mismo Estado.

Existen barreras a la entrada de nuevas empresas debidas a los rendimientos crecientes de escala. En las industrias en las que hay rendimientos crecientes en escala, las nuevas empresas que tengan una baja producción se enfrentarán

a unos costos mucho más altos que las empresas ya consolidadas que tengan una elevada producción.

Cuando una empresa ha logrado una posición de monopolio debido a la existencia de rendimientos crecientes de escala, se trata de un monopolio natural. Son las circunstancias las que determinan si un mercado es o no un monopolio natural.

2.3.2. Bienes públicos

Existen bienes que, no son suministrados por el mercado, y si lo son; la cantidad en que son suministrados es insuficiente. Ej.: defensa nacional (a gran escala), boyas luminosas como ayuda a la navegación (menor escala). Se denominan bienes públicos puros. Con dos propiedades básicas:

1) no cuesta nada que otra persona más disfrute de sus ventajas. Formalmente, el hecho de que un individuo adicional disfrute del bien tiene un coste marginal nulo.

2) en general es difícil o imposible impedir que se disfrute del bien público. Ej.: al evitar el ataque de un país, no es posible excluir a alguna persona de los beneficios.

El hecho de que los mercados privados no suministren bienes públicos o suministren pocos, justifica muchas de las actividades del Estado.

2.3.3. Externalidades

Existen muchos casos en los que los actos de una persona o de una empresa afectan a otras personas o empresas:

1) Externalidades negativas: en los que una empresa impone un coste a otras pero no las compensa. Ej.: planta química que vierte sustancias a un río cercano impone un coste a los usuarios del agua situados río abajo, quienes es posible que tengan que pagar una cuantiosa suma de dinero para purificarla y poder consumirla.

2) Externalidades positivas: en los que una empresa genera un beneficio a otras, pero no recibe ninguna retribución a cambio. Ej.: plantar un jardín delante de una casa y que los vecinos se beneficien de él al poder contemplarlo.

2.3.4. Mercados incompletos

Los bienes y los servicios públicos puros no son los únicos que los mercados suministran inadecuadamente. Siempre que los mercados privados no suministran un bien o un servicio, aún cuando el costo de suministrarlo sea inferior a lo que los consumidores están dispuestos a pagar, existe una falla de mercado. Se habla en este caso de mercados incompletos, que dan lugar a la intervención del Estado. Un mercado completo suministra todos los bienes y servicios cuyo costo de suministro fuera inferior al precio que los individuos están dispuestos a pagar. Ej. de mercados incompletos: 1) mercados de

seguros: seguros contra las inundaciones, incendios, etc.; 2) mercados de capitales: préstamos hipotecarios a pequeñas y medianas empresas.

Mercados complementarios

Problemas relacionados con la ausencia de mercados complementarios. Ej.: productor de café y productor de azúcar. Sería ideal que las dos empresas pudieran unirse para seguir produciendo, ya que actuando por separado ninguna de los dos podría servir al interés público, pero sí actuando conjuntamente. Para tal finalidad, existen muchos casos en los que es necesaria una coordinación a gran escala, para lo cual quizá sea precisa una cierta planificación estatal.

2.3.5. Fallas en la información

Algunas actividades del Estado se justifican porque los consumidores tienen una información incompleta y por la convicción de que el mercado suministra por sí solo poca información. Ej.: los gobiernos suelen exigir que los prestamistas informen a los prestatarios del verdadero tipo de interés de sus préstamos.

En este sentido muchos sostienen que es innecesaria la información ya que el mercado competitivo ofrece incentivos a las empresas para que revelen la información pertinente); es irrelevante porque los consumidores prestan poca atención a la información que la ley obliga a las empresas a revelar; y costosa tanto para el Estado, que debe velar por su cumplimiento, como para las

empresas, que deben cumplirlas. En contraparte otros alegan que, aunque es difícil aplicarlas eficazmente, son útiles.

La intervención del Estado para remediar esta falla de mercado: la información es, en muchos aspectos, un bien público; ya que suministrar información a una persona más no supone reducir la cantidad que tienen otras. La eficiencia requiere que se difunda gratuitamente, o que sólo se cobre el costo real de transmitirla. El mercado privado a menudo suministra una información insuficiente, lo mismo que suministra una cantidad inadecuada de otros bienes públicos.

2.3.6 El desempleo (paro), la inflación y el desequilibrio

Otra de las fallas de mercado es el elevado índice de desempleo que ha acosado a las economías capitalistas en los últimos doscientos años, aún cuando hayan sido más modernas a partir de la Segunda Guerra Mundial.

El hecho de que haya una falla de mercado, como que los mercados no sean capaces de generar pleno empleo, no significa que tenga que intervenir el Estado. Hay que poder demostrar, además, que existen medidas mediante las cuales el Estado puede mejorar el funcionamiento de la economía.

2.4 Mercado de Bonos de carbono

De acuerdo a la Plataforma Sobre Financiamiento de Carbono para América Latina¹¹ los mercados de carbono son ámbitos donde se intercambian contratos de compra y venta donde una parte paga a otra por una cantidad determinada

¹¹ Fuente: <http://finanzascarbono.org/mercados/>, consultado en septiembre de 2013

de reducción de emisiones de GEI. Los activos que se comercian en estos mercados son de tres tipos:

Permisos de emisión: son asignados por los gobiernos de países a empresas que son emisoras de GEI en función de los compromisos de reducción de emisiones asumidos en el marco del Protocolo de Kioto. El mercado más importante es el europeo llamado EUETS (European Union Emission Trading Scheme), donde se negocian permisos llamados “EUAs” (European Union Allowances).

Certificados de reducción de emisiones originados en proyectos: son creados cuando un proyecto específico de mitigación llevado a cabo en un país en desarrollo o de Europa del Este demuestra que reduce emisiones de GEI en comparación con lo que hubiera ocurrido en ausencia del proyecto. Los certificados generados por proyectos llevados a cabo en países en desarrollo en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) se llaman “CERS” por sus siglas en inglés (Certified Emission Reductions).

Por su parte, los certificados generados por proyectos ejecutados en países de Europa del Este en el marco del mecanismo de Implementación Conjunta (IC) son denominados “ERUS” (Emission Reduction Units). Tanto el MDL como la IC son mecanismos contemplados en el Protocolo de Kioto.

Certificados de reducción de emisiones voluntarias: son los certificados que se comercian en los mercados de carbono voluntarios.

De acuerdo a esta fuente, los mercados de carbono exhibieron un rápido crecimiento desde su creación (el valor total negociado creció de 11 mil millones de dólares en 2005 a alrededor de 176 mil millones de dólares en 2011) pero comenzaron a perder fuerza a partir de la crisis económica iniciada en los países desarrollados en 2008-2009. La caída de la producción industrial en estos países, con la consecuente disminución de las emisiones de GEI asociadas, redujo la demanda de activos de carbono necesarios para acreditar cumplimiento de metas de emisión, impactando fuertemente sobre los precios.

La Plataforma Sobre Financiamiento de Carbono para América Latina señala que en la actualidad, los precios de los activos de carbono permanecen en mínimos históricos y las perspectivas de que los mercados globales se reactiven son altamente inciertas. Sin embargo, en paralelo, a partir de 2011 comenzaron a proliferar iniciativas de creación de mercados domésticos a nivel regional, nacional y sub-nacional.

Permisos negociables: como su nombre lo indica son permisos para “contaminar” que se negocian en un mercado, como cualquier mercancía o servicio. Butze (2006) menciona que de acuerdo a la OCDE las cuotas medioambientales o autorizaciones asignadas sobre los niveles de contaminación o de uso del entorno que, una vez fijadas y atribuidas por la autoridad competente, pueden ser negociadas e intercambiadas por sus titulares respetando un marco predeterminado.

Consiste en establecer por parte de la autoridad estatal responsable una cantidad máxima del recurso o servicio que se puede utilizar. El nivel de calidad ambiental dispuesto se expresa en permisos de emisión o de uso, según el caso, y posteriormente se distribuyen entre los agentes del mercado en forma de cuotas que constituirán derechos de uso sobre el mencionado recurso o servicio.

Un permiso de contaminación ambiental otorga el derecho al poseedor del mismo, la posibilidad de hacer uso de un determinado medio físico o región receptora.

Durante las últimas décadas la situación ambiental, como producto del crecimiento industrial y demográfico se ha vuelto tema central en las políticas de diversos países, pues muchos son los que han tenido que tomar medidas urgentes debido a la contaminación y degradación de sus recursos.

El inexorable incremento de la actividad económica, la aceleración en la creación de necesidades, los modelos de consumo nuevos, y la intensificación de la competencia por los mercados que demandan productos a un precio accesible, y por ende, una producción a menor costo la cual deteriora el ambiente, Butze (2006).

Este mismo autor señala que los instrumentos de gestión ambiental con implicaciones en una disminución del crecimiento económico, ya sea que entrañen abandonar la elaboración de ciertos productos o signifiquen altos costos de producción que repercutan en el precio de venta y las utilidades de

las empresas, los convierten en soluciones útiles, y por lo tanto, en un conflicto de intereses entre la economía y el medio ambiente.

Por otro lado Londoño (2006) señala que actualmente, un gran número de recursos naturales, involucrados en los procesos de producción, no están gobernados por reglas de acceso bien definidas y se conocen como bienes o recursos de propiedad común, ya que ni el sector público ni el privado controlan la disposición del stock y, en consecuencia, los usuarios de estos sólo pagan por el costo. Además, el uso de los recursos naturales tiene otras consecuencias que no han sido valoradas en el coste final del producto, tales como:

- La sobreexplotación, que puede agotar el recurso, imposibilitando su uso a las futuras generaciones o impidiendo su implementación en otros aprovechamientos.
- La presión que generan las emisiones y residuos de los recursos sobre el ecosistema y, en consecuencia, el aumento de los problemas ambientales.

Y de acuerdo a esta autora esto es lo que se conoce como fallo de mercado y tiende a generar una sobreexplotación de los recursos naturales y una dinámica de externalidades económicas. Conceptualmente, el problema de la externalidad puede ser descrito como la diferencia entre los beneficios (costes) acumulados por la sociedad y el beneficio acumulado por la entidad del proyecto.

Desde inicios del siglo pasado la teorización de la economía desde el punto de vista ambiental ha dado aportaciones importantes, de acuerdo a este autor la Economía Clásica, desde sus inicios, ha considerado los recursos naturales como proveedores de materias primas para los procesos de producción y ha relacionado el medio ambiente con un posible límite al crecimiento económico; es decir, ha considerado los recursos naturales como factores de producción o medios para producir bienes o servicios que pueden satisfacer directa o indirectamente necesidades humanas.

Dentro de este enfoque se han visualizado, según las referencias de Londoño (2006), dos corrientes de pensamiento que intentan explicar el papel de los recursos naturales en la dinámica económica y productiva, la Economía Ambiental y la Economía ecológica. La primera, que surge como una subdisciplina de la Economía Neoclásica, intenta explicar de manera satisfactoria la interacción entre el medio ambiente y el desarrollo económico. Considera que las interrelaciones con el medio ambiente se dan bajo la forma de un flujo circular donde es posible identificar tres funciones económicas:

- Proveer recursos naturales.
- Asimilar desechos.
- Fuente directa de actividad.

Las cuales, a su vez, constituyen los componentes de una función vital del medio ambiente: el soporte de la vida, generando un valor económico positivo

2.4 La regulación legal en el marco ambiental

Según Cuadrado (2006, p. 415), las políticas ambientales surgen cuando el nivel real de calidad ambiental es menor que el deseado o cuando el temor a un deterioro inminente aconseja una actuación preventiva, por lo que hay que tratar de modificar el comportamiento de los agentes económicos, productores o consumidores, mediante la aplicación de estas políticas¹².

En México se ha iniciado el intercambio de bonos por emisiones a la atmósfera a raíz del Protocolo de Kioto que pretende la reducción de gases invernadero como el metano producido en las instalaciones pecuarias.

El Estado como árbitro, tiene la obligación de dirimir los conflictos de intereses que se presentan entre la economía y el medio ambiente, diseñando variados instrumentos orientados a influir o condicionar el comportamiento de los agentes de la sociedad con el fin de inducirlos a actuar de un modo tal, que se minimice el deterioro ambiental, o que se maximicen los efectos ambientales positivos de sus acciones, Butze (2006).

En este sentido este autor mantiene la posición de que los problemas ambientales son originados primordialmente por la contaminación resultante de las acciones de producción y consumo de un conjunto de individuos que afectan a otros, aun cuando éstos se encuentren distantes en espacio y tiempo o inclusive no hayan nacido. En esta perspectiva se ha conformado una corriente de pensamiento, la cual justifica restringir la libertad de aquellos que originan

¹² Citado por Angulo (2007)

los problemas más ambientales, con el objeto de proteger la libertad y el bienestar de los afectados.

Tal restricción, se debe llevar a cabo por medio de la regulación directa, mediante normas impuestas por el Estado con el objeto de arribar a un resultado colectivo que la misma sociedad prefiere. En estas circunstancias, los agentes económicos pueden aceptar restricciones colectivas más estrictas, convencidos del beneficio ambiental que les reporta el someterse a ellas, con el objeto de alcanzar los fines deseados.

Existe otra corriente del pensamiento, la cual tiene la percepción de que las regulaciones directas pudieron haber llegado al límite de su eficacia, calificándolas de estáticas, inflexibles y subóptimas en términos de eficiencia económica y ambiental, Butze (2006).

Los instrumentos económicos o de regulación indirecta comprenden un conjunto de regulaciones diversas de tipo normativo y de mercado, a través del mecanismo de precios, cuyo objetivo es internalizar las externalidades ambientales, y consecuentemente hacer pagar al que contamina. Lo característico de estos instrumentos es: “Proporcionar incentivos económicos que inducen a los agentes causantes a adoptar medidas eficientes destinadas a evitar la contaminación o a conservar los recursos naturales” Butze (2006).

Estos instrumentos “Otorgan a los agentes descentralizados su libertad de elección, decisión y comercio, mientras que al mismo tiempo afectan el esquema de ventajas y desventajas asociadas a las consecuencias de esas

elecciones” Butze, W. (2006). Una característica importante radica en el hecho de que éstos pretenden modificar la conducta de los individuos mediante el convencimiento, con el objeto de ser utilizados de manera voluntaria. Al respecto menciona que:

Los instrumentos de regulación indirecta o económica son todos aquellos instrumentos que inciden en los costos y beneficios imputables a los cursos de acción alternativos que enfrentan los agentes económicos. Es un instrumento económico aquél que afecta la rentabilidad de procesos o tecnologías alternativas, o el precio relativo de un producto, alterando, en consecuencia, las decisiones de productores y consumidores, induciéndoles eventualmente, a acciones que, en el agregado, contribuirán a reducir los niveles de deterioro ambiental.

Instrumentos económicos:

- Fiscales y financieros.
- De mercado.
- Relacionados con derechos de propiedad y de uso.

De acuerdo a Butze (2006) las ventajas de los instrumentos económicos: Hacen posible el uso eficiente de los recursos ambientales afectados, facilitando el establecimiento de precios adecuados de los bienes y servicios ambientales.

Y por otra parte señala que los instrumentos económicos con base al mercado consideran la contaminación ambiental como una externalidad, dado que en el

costo de producción de bienes y servicios no se toma en cuenta el costo del daño ocasionado al ser humano y a su entorno de vida. Esta consideración se introdujo en el informe “Brundtland” bajo el principio: “el que contamina paga”. Por medio del cual, se pretende obligar al productor de bienes y servicios a internalizar la externalidad, absorbiendo los costos no solamente de producción, sino también los ambientales.

Angulo (2007) señala que las políticas regulatorias son las políticas medioambientales más extendidas, siendo su principal justificación que ofrecen una protección absoluta del sujeto medioambiental protegido. Sin embargo, en los últimos años la utilización de las regulaciones se ha ido reduciendo debido a los elevados costes administrativos de utilización y su ineficiencia económica. Esta ineficiencia está provocando un incremento en la importancia de la política de incentivos, aunque ésta no puede sustituir totalmente a aquella, puesto que no puede garantizar que todos los agentes económicos reaccionen positivamente a los incentivos ofrecidos.

Las principales ventajas que ofrece la política de incentivos frente a las regulaciones tradicionales son:

- Los agentes económicos tienen total libertad para fijar su conducta: pueden seguir contaminando y pagar más, o pueden evitar pagar reduciendo su contaminación.
- Las empresas más respetuosas con el medio ambiente obtienen ventajas.

- Generan un estímulo innovador permanente, con el fin de desarrollar tecnologías limpias para incrementar sus beneficios.
- Son más flexibles que los sistemas tradicionales de regulación.
- Logran situaciones más eficientes que las regulaciones, al adaptarse a las características individuales de los distintos agentes contaminadores.

2.5 Los permisos negociables

Dentro de la corriente de pensamiento neoclásica imperante hacia principios del siglo XX, al economista Arthur C. Pigou se le atribuye la primera discusión en 1920 del uso de los instrumentos económicos en política ambiental, y ser el primero en introducir la idea de “externalidad óptima”. Con respecto al uso de los instrumentos económicos, argumentó que para enfrentar una externalidad, como la contaminación, el remedio apropiado era imponer un impuesto unitario sobre las emisiones de las actividades contaminantes.

La tasa impositiva que se estableciera debería ser igual al daño marginal social externo, emanado por la última unidad de contaminación, dada una asignación eficiente de los recursos. Las empresas al comparar este impuesto con sus emisiones, internalizarían sus externalidades. Asimismo, al reducir de manera simultánea sus propios costos, minimizarían los costos a la sociedad en su conjunto.

Como parte de estas nuevas perspectivas y análisis del entorno económico y ambiental incipiente, hacia finales de la segunda mitad del siglo pasado era posible apreciar la existencia de dos corrientes de pensamiento. La primera de

los economistas con una visión pigouviana, y la segunda corriente representada por los responsables de la política ambiental. De acuerdo a estos últimos, la manera correcta para controlar la contaminación era mediante una serie de regulaciones legales, mismas que se hacían depender de la localización de las actividades contaminantes para establecer la especificación del tope de emisión.

La autoridad ambiental debería, en primera instancia, determinar la cantidad de contaminación permitida a cada emisor, segundo, monitorear las emisiones para establecer el cumplimiento de la norma; y tercero, hacer uso de penalizaciones y otros medios coactivos para obligar a las fuentes a su cumplimiento en caso de no hacerlo.

En 1960, Ronald Coase, publicó un artículo en el cual señalaba que Pigou había usado un enfoque demasiado reducido, por tanto se hacía necesario modificarlo, involucrando los derechos de propiedad y al mismo tiempo redefinirlos. Se infiere que contaminar es un derecho susceptible de negociación. Según Coase, la solución más eficaz para compensar los daños por contaminación es un proceso de negociación entre el contaminador y el contaminado.

Coase argumentaba que para hacer esos derechos de propiedad explícitos y transferibles, el mercado debería tener un papel esencial no sólo para evaluar estos derechos, sino también para proporcionar un medio cuyo propósito fuera asegurar el mejor y máximo de los usos, permitiendo evaluar los derechos de

propiedad en oposición al Estado, ya que este último no proporciona los medios para que éstos logren su valor máximo.

El economista norteamericano Crocker, consideró el comercio de emisiones como una alternativa, proponiendo la idea de que el gobierno estableciera un límite sobre el agregado de emisiones y dejara al mercado determinar el precio por unidad de emisión y a las empresas el grado de abatimiento de sus emisiones en sus instalaciones, en lugar de que el gobierno estableciera el precio por medio de un cargo por emisión.

A pesar de las controversias, esta polémica rindió frutos, ya que el tema de los permisos de emisión negociables fue tomando forma. Todo esto fue producto de la nueva visión de los economistas con respecto a la relación existente entre economía y medio ambiente.

Dales en 1968 popularizó la idea de los permisos negociables. Montgomery en 1972, llevó a cabo la demostración matemática de la propiedad del menor costo de los permisos de contaminación negociables. En 1983 Plott realizó los primeros experimentos sobre mecanismos para el comercio de emisiones.

Los sistemas representativos de comercio de emisiones.

Los EUA han sido pioneros en el diseño y desarrollo de sistemas de comercio de emisiones.

En 1975, EUA a través de su Agencia de Protección Ambiental (EPA) implementó un sistema de permisos de emisiones por medio del Programa de Comercio de

Emisiones, como parte de la Ley de Aire Limpio. Aplicó una modalidad del sistema de permisos, por medio de créditos de reducción de emisiones que son todos aquellos créditos por emisiones inferiores al límite establecido, certificados por la EPA. Éstos se podían negociar de distintas formas, dando lugar a diversas modalidades, entre las que destacan:

- a) La burbuja (bubble). Consiste en colocar sobre la planta de una empresa o área geográfica una “burbuja”, considerándola como una sola fuente de emisiones. De esta forma: La Administración fija un límite a las emisiones en conjunto, de la planta o del área contenida en la “burbuja”, permitiendo a las empresas contaminadoras que libremente asignen la reducción de las emisiones entre las diversas fuentes existentes, o consiguiéndolas en cualquier punto de su proceso de producción, con la sola condición de que se respete el límite global establecido.
- b) Emisiones netas o redes de control (netting). Dirigida a las fuentes existentes que van a ser modificadas y desean evitar la aplicación de normas más estrictas, si se les considerara como una nueva fuente y quedaran sujetas a estándares más estrictos.
- c) Depósito (banking). Las empresas pueden depositar la totalidad o parte de los créditos de reducción de emisiones no utilizadas, en una cámara de compensación cuyo titular podrá usarlos con posterioridad o transferirlos a otras empresas.

d) Base line and credit. Sistema en el cual las empresas cuyas emisiones estén por abajo del límite establecido, obtienen créditos de reducción de emisiones antes de que éstos puedan ser comercializados.

e) Programa de compensaciones (Offset). Autorizar nuevas fuentes de emisión, ya sea de plantas en operación o bien de nueva creación, en áreas conocidas como “sucias” donde no se cumplen los estándares de calidad ambiental.

f) Cap and Trade. Sistema cerrado que se encuentra restringido a participantes específicos. Éste es el más ampliamente conocido y desarrollado en la práctica. Consiste en que el órgano regulador primero establece un límite total sobre las emisiones o cantidad máxima de emisiones que representa la cantidad total de contaminante que se les permite emitir en conjunto a los partícipes del programa durante un cierto periodo. Posteriormente el órgano regulador crea las autorizaciones de emisión en forma de concesiones. (...) una vez distribuidas se pueden vender y comprar libremente¹³.

Según la FAO, Durante los últimos años se ha estado incrementando la intercesión por la adopción de ‘permisos para contaminar’ negociables, como una forma de costo efectivo para reducir la polución, particularmente con relación al debate sobre calentamiento global. El objetivo es limitar la producción de desechos al tiempo que se crean incentivos para el uso eficiente de los recursos. Un número de sistemas ha sido propuesto los cuales

¹³ Butze (2006)

involucran la creación de permisos negociables y un comercio basado en el establecimiento de pagos por unidad de polución o el uso de créditos de reducción de polución. Estos sistemas son a menudo preferidos a las sanciones, ya que los mecanismos de mercado son usados para asignar derechos de polución una vez que un proceso político ha decidido el nivel máximo de contaminación permitida.

Al respecto Angulo (2007) menciona que son los permisos de emisión negociables (PEN) los que están ganando cada vez más aceptación entre las autoridades ambientales de distintos países. A través del sistema de PEN se crea el derecho a emitir sustancias contaminantes. Cada permiso habilita a su poseedor a emitir una unidad del material residual indicado (un kilogramo, una tonelada o cualquier unidad de medida). Por lo general, los poseedores de permisos tendrán un número determinado de ellos en cada momento, de forma que el número total de permisos distribuidos entre los distintos contaminadores impone un límite superior al total de emisiones.

Los permisos son negociables, es decir, todos los que tengan licencia para participar en el mercado de permisos pueden comprarlos y venderlos al precio que convengan los participantes.

Los permisos negociables se encuentran entre los instrumentos económicos de gestión ambiental conceptualmente más recientes, sin embargo, en la práctica se han desarrollado e implementado rápidamente dada la versatilidad en sus aplicaciones. Han pasado de su aceptación local a la internacional, como

resultado destacan un par de ejemplos: protocolo de Kioto y La Unión Europea. Sin embargo, a pesar de que son respaldados por una dinámica institucional aún hay mucho más que afianzar en sectores que sugieren un potencial de uso de estos instrumentos.

Estos permisos son una vía para incentivar a los agentes a reducir sus actividades contaminantes de manera voluntaria, ellos estimulan los mecanismos y respaldan las medidas emprendidas con el fin de crear una sinergia que permite de alguna manera alcanzar los objetivos buscados en materia de reducción de emisiones.

CAPITULO III. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona de los Tuxtlas, de acuerdo al documento Estudios Regionales para la Planeación (2011) la región limita al norte con el Golfo de México, al este y sureste con la región Olmeca y al oeste con la región del Papaloapan. Está integrada por 4 municipios: Catemaco, Hueyapan de Ocampo, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla. Esta región presenta una superficie de 2,947 km² (4.1% del territorio estatal). Por su extensión destacan los municipios de San Andrés y Hueyapan ya que en conjunto concentran el 56.6% del territorio regional. Sin embargo el municipio de Hueyapan por su ubicación no entra dentro de la delimitación geográfica que en este estudio se abarca, sin embargo, para algunos cálculos los promedios incluyeron datos de esta localidad.

Cuadro 2. Región de los Tuxtlas.

Municipio	Superficie territorial (km ²)	Porcentaje de territorio estatal	Porcentaje de territorio regional
Total	2 947	4.1	100
Catemaco	659	0.9	22.4
Hueyapan de Ocampo	712	1	24.1
San Andrés Tuxtla	957	1.3	32.5
Santiago Tuxtla	619	0.9	21

Fuente: Estudios Regionales para la Planeación (2011).

Esta región presenta un clima cálido- húmedo. Basado en los datos recopilados de cinco años (1997-2001) en la Estación de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el promedio de la temperatura máxima es 27.3 °C y el promedio de la temperatura mínima es 21.5°C, con una precipitación anual de más de 4500 mm. Aun cuando llueve todo el año, hay una época de “lluvias” que va de junio a febrero, y una época de “secas” de marzo a mayo. El mes más seco generalmente es el de mayo y los meses más lluviosos por lo común son los de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Existen variaciones de año en año en la precipitación total anual. A continuación se muestran las temperaturas promedios de temperatura y precipitaciones.

Cuadro 3. Temperatura y precipitación.

Temperatura (°C)		Precipitación por mes	
Promedio anual	24.6	Promedio	17 cm
Promedio alto	28.7	promedio jun-oct	32 cm
Promedio bajo	20.5	promedio nov-may	7 cm

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

La región de Los Tuxtlas ocupa una extensión aproximadamente de 90 km de largo por 50 km. de ancho, está casi totalmente cubierta por depósitos piroclásticos y derrames de lava, en la cual aparecen esporádicamente ventanas de sedimentos marinos del Terciario (Ríos MacBeth, 1952). La localización geográfica aproximada de la Sierra de Los Tuxtlas está entre los 18° 10' y 18° 45' de latitud norte y los 94° 42' y 95° 27' de longitud oeste.

La región se destaca por su orientación del uso de suelo a actividades del sector primario; más del 84.0% (2,477 km²) de su territorio se destina a

actividades agropecuarias como pastizal y agricultura. Por otra parte, el 5.4% (180 km²) de su superficie corresponde a área selvática. En lo referente a cuerpos de agua, éstos representan el 2.8% de su área total.

Otra de las características que mencionan los Estudios Regionales para la Planeación (2011) es que el escurrimiento a nivel región hidrológica, la número 28 denominada Papaloapan y conformada por 18 cuencas, equivale al 14.8% del total registrado a nivel estatal. Los principales ríos de la región son: San Juan Grande de Catemaco, Coxcoapan, Coetzala, Ahuacapan y Hueyapan. Según datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de los 10 ríos principales por vertiente localizados en el Estado, uno se localiza en esta región, el Papaloapan, el cual presenta un escurrimiento natural medio superficial equivalente a 44,662 millones de metros cúbicos anualmente (36.8% de los escurrimientos registrados en la entidad). Las lagunas más importantes son: Laguna de Catemaco, de Sontecomapan, Esmeralda, Pizatal y Laguna Grande.

Los datos anteriores revelan que la zona de los Tuxtlas es un área rica hidrológicamente, lo que la hace potencialmente vulnerable a las actividades productivas rurales ya que dentro de las prácticas comunes en las actividades de traspatio está el verter los desechos a las corrientes de agua, además de que este recurso es requerido dentro de las propias actividades productivas.

En esta zona fue donde se desarrolló el estudio, las características físicas y climatológicas hacen adecuada la instalación de un biodigestor, además que se

contribuye a reducir el impacto de las actividades de traspatio, ya que es común que muchas granjas o ranchos con explotaciones de ganado porcino viertan sus desechos a los cuerpos de agua cercanos. La presencia de externalidades en estos ecosistemas es amplio y desafortunadamente casi el total de las actividades productivas emprendidas tienen efectos nocivos sobre el entorno, es por eso que se hace necesario emprender proyectos que impulsen la implementación de nuevas tecnologías que sean amigables con el ambiente y que a la vez sean fáciles de adoptar para las personas que habitan estas comunidades.

3.1 Producción Mundial

La actividad porcícola es de gran importancia en todo el mundo, debido a la gran cantidad de empleos directos e indirectos que genera. Es una de las actividades más representativas en las zonas rurales en todo el planeta.

La porcicultura es una de las actividades que se caracteriza por el aprovechar casi el cien por ciento la excreta del cerdo. La carne de cerdo es ampliamente demandada por su sabor, disponibilidad en el mercado y precio fundamentalmente.

En el período de 2002-2011 la producción de carne de cerdo en canal a nivel mundial creció a una tasa de crecimiento media anual del 1.9%.

China es el primer productor de carne de cerdo en canal a nivel mundial, su producción en 2011 representó el 46.8%.

Cuadro 4. Situación mundial de la producción porcina.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2011 %	TM CA
Alemania	4110	4239	4323	4500	4663	4985	5122	5265	5488	5616	5.1	3.5
Brasil	2798	3059	3110	2800	2830	2990	3015	3130	3195	3227	2.9	1.6
Canadá	1858	1882	1936	1920	1898	1898	1948	1943	1926	1954	1.8	0.6
China	4232 ₃	43433	44479	46622	47591	43933	47190	49880	51681	5153 ₅	46.8	2.2
Dinamarca	1759	1762	1810	1793	1749	1802	1707	1585	1668	1720	1.6	-0.2
España	3070	3190	3076	3168	3235	3439	3484	3291	3369	3469	3.2	1.4
Estados Unidos de América	8929	9056	9303	9383	9550	9951	10599	10442	10186	1033 ₁	9.4	1.6
Federación de Rusia	1583	1706	1643	1520	1641	1873	2042	2169	2331	2428	2.2	4.9
Filipinas	1332	1385	1366	1415	1565	1617	1606	1596	1613	1649	1.5	2.4
Francia	2346	2339	2293	2274	2011	2031	2274	2262	2191	2157	2.0	-0.9
Italia	1536	1590	1590	1515	1559	1603	1606	1628	1673	1602	1.5	0.5
Japón	1246	1274	1263	1245	1247	1251	1249	1310	1292	1267	1.2	0.2
México	1070	1035	1064	1103	1109	1152	1161	1162	1175	1202	1.1	1.3
Países Bajos	1377	1253	1287	1297	1265	1290	1318	1275	1288	1347	1.2	-0.2
Polonia	2023	2190	1956	1956	2098	2151	1920	1736	1895	1935	1.8	-0.5
Viet Nam	1654	1795	2012	2288	2505	2663	2783	3036	3036	3099	2.8	7.2
Mundo	9317 ₁	95656	96692	99125	100980	99891	104164	106610	109371	1100 ₁₂	100.0	1.9

Fuente: Elaboración propia con datos FAOSTAT.

Los Estados Unidos de América son el segundo productor de carne de cerdo en canal, su producción representó en 2011 el 9.4% del total mundial.

México ocupa el lugar dieciséis, en la producción de carne de cerdo en canal, en el período de 2002-2011 su producción creció a una tasa media de crecimiento anual del 1.3%.

La actividad porcícola es ampliamente practicada en el mundo pero muchos de los problemas que impiden el desarrollo sobre todo en explotaciones pequeñas son los elevados costos de producción por los altos precios de los insumos.

3.3. Situación nacional de la porcicultura

De acuerdo a Mariscal (2007), en México se observan básicamente tres diferentes sistemas de producción, caracterizados por su nivel tecnológico: el

sistema tecnificado, el semitecnificado y el de traspatio. Los dos primeros tienen una distribución geográfica definida, por el contrario, el sistema de traspatio se presenta en todos los estados del país.

El sistema tecnificado se caracteriza por utilizar tecnología de punta, con adecuaciones particulares a las condiciones climatológicas donde se encuentra. El nivel de integración es alto, lo que le permite controlar la calidad genética de la piara y estandarizar los cerdos producidos para sacrificio. Generalmente este sistema de producción se encuentra en empresas que cuentan con asesoría en la formulación de raciones de acuerdo a la disponibilidad de insumos y capacidad productiva de la piara.

Los estados en donde es preponderante este sistema y los que se encuentran libres de enfermedades de carácter económico son prácticamente los mismos. Este sistema de producción ha ido incrementando su participación en la producción en los últimos años; actualmente se estima que representa aproximadamente el 58% de la producción nacional y se ubica principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa y Yucatán (Lastra et al., 2000).

El sistema semitecnificado tiene como principal característica que utiliza tecnología moderna pero al mismo tiempo emplea técnicas tradicionales de manejo, sus parámetros productivos son muy variables; sin embargo, generalmente su productividad es inferior a la observada en el sistema tecnificado. Esto es debido principalmente a que la infraestructura de las granjas y el control sanitario de las mismas no son adecuados, a lo cual se

suma el empleo de alimentos comerciales, los cuales se caracterizan por cubrir los requerimientos nutrimentales de una población hipotética de cerdos.

Comercializa sus productos principalmente en mercados regionales y en pequeños centros urbanos; su participación en el mercado nacional representa alrededor del 15% y su importancia productiva disminuyó en un 5% en la última década (Lastra et al, 2000). Este sistema se encuentra en todos los estados de la república, aunque es mayoritario en el centro (Guanajuato, Michoacán y Jalisco) y sur del país.

El sistema de traspatio se practica en todo el territorio nacional, incluyendo áreas urbanas como la ciudad de México, donde se tienen censados a 40,000 cerdos repartidos en siete delegaciones: Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Milpa Alta, Xochimilco, Tláhuac y Tlalpan (Ramírez, 2001), su mayor relevancia radica en ser una fuente de abasto de carne en zonas en donde los canales comerciales formales no operan.

Su aporte a la producción nacional se estima en un 30%, este porcentaje se ha mantenido prácticamente invariable durante la última década. Otra característica importante de este sistema es que la calidad genética de los animales es baja, lo cual se traduce en bajos rendimientos productivos (Lastra et al., 2000).

Debido a que este estudio se desarrolla en el estado de Veracruz, se analizó de manera general la participación por producto en la industria porcina de esta entidad, y se encontró que para el año 2012, según el Servicio de Información

Agroalimentario y Pesquero (SIAP), Veracruz ocupaba el quinto lugar en porcentaje de participación por producto con respecto al total nacional, solo por detrás de los estados de Jalisco, Sonora, Puebla, y Guanajuato.

Gráfica 1. Participación nacional de la industria porcina en México (%).



Fuente: elaboración propia con datos del SIAP.

Como muestra el dato anterior la industria porcina tiene un desarrollo considerable en el estado, sin embargo, en la región de los Tuxtlas aún es una actividad incipiente, caracterizada por una tendencia a la producción de traspatio. Las propias características ambientales y las prácticas tradicionales hacen urgente tomar medidas de mitigación del impacto negativo de la cría de cerdos en esta zona.

Esta zona cuenta con una gran cantidad de cuerpos de agua que están amenazados por las actividades humanas productivas típicas de la zona como la cría de cerdos, lo que hace urgente tomar medidas que contribuyan a

disminuir su creciente deterioro pero que también no orillen a los productores a hacer cambios de uso de suelo, sino que incentiven sus actividades comunes y a la vez éstas se vuelvan rentables.

El plano nacional en general ha mantenido una tasa de crecimiento anual positiva, las entidades con mayor producción a excepción de Michoacán y Oaxaca han registrado crecimientos positivos desde el año 2003. A continuación se muestra la tendencia en las tasas de crecimiento a nivel estatal.

Cuadro 5. Producción nacional de carne porcina en canal (Ton).

Año/ Estado	Jalisco	Sonora	Puebla	Guanajuato	Veracruz	Yucatán	Michoacán	Oaxaca	Total nacional
2002	214,889	194,528	79,001	96,574	73,687	81,149	52,830	29,493	822,151
2003	199,733	201,361	72,968	93,242	67,428	87,374	46,109	29,234	797,449
2004	208,072	199,519	75,742	94,499	64,588	90,456	46,347	30,575	809,798
2005	210,240	213,475	83,468	100,565	72,992	97,867	42,219	26,227	847,053
2006	211,515	209,306	93,376	100,480	70,464	97,867	42,857	26,407	852,272
2007	221,685	212,594	100,882	101,822	68,032	102,151	42,411	28,215	877,792
2008	216,800	222,356	101,441	103,657	68,204	100,247	42,311	28,189	883,205
2009	211,665	221,863	109,736	109,490	68,990	98,444	42,329	28,600	891,117
2010	221,652	213,365	109,612	110,471	73,458	98,833	43,062	30,682	901,135
2011	227,500	223,650	115,270	111,179	83,270	99,177	42,378	31,763	934,187
2012	236,433	233,727	122,194	108,965	105,996	105,150	40,771	28,933	982,169
TMCA	0.96	1.85	4.45	1.21	3.70	2.62	2.55	0.19	1.79

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP.

De acuerdo a Mariscal (2007), el manejo que se haga de las excretas es primordial, ya que representan un alto riesgo de contaminación del suelo y mantos freáticos principalmente con nitratos y fosfatos por el probable escurrimiento y filtración, lo cual incrementa el proceso de eutrofización de los mantos acuíferos. Otra de las consecuencias ecológicas es la relacionada con

la aportación de nitrógeno hacia la atmósfera lo cual contribuye a la formación de lluvia ácida.

El componente capacidad instalada revela otro aspecto importante de la industria porcina en el Estado de Veracruz, ya que como se observa otras entidades que registran menos producción tanto en pie como en canal cuentan con mayor infraestructura instalada para la demanda que se presenta en el mercado, una de las hipótesis sería las propias características de la producción porcícola en el estado, ya que como lo menciona Financiera Rural (2012) a través de los datos de la SAGARPA.

Cuadro 6. Capacidad instalada por entidades federativas.

Entidad federativa	Capacidad instalada mensual (cabezas)					Equino
	Bovino	Porcino	Caprino	Ovino	Ave	
Aguascalientes	8,000				1,200,000	
Baja California	30,300	8,640				
Campeche	4,320					
Chiapas	12,680				2,688,000	
Chihuahua	14,300	1,950			1,200	2,600
Coahuila	23,540	5,700	12,000			
Durango	6,500	1,600			9,000,000	
Guanajuato	23,625	135,025	7,875	7,875	2,760,000	
Guerrero	1,600	3,000				
Hidalgo				8,000	4,550,000	
Jalisco		54,600			12,300,000	
México	4,500	60,460		1,650		
Michoacán	20,000	1,000				
Nayarit					750,000	
Nuevo León	56,064	57,683	63,000		4,228,000	
Puebla		13,040			5,846,000	
Querétaro	8,400	12,000		1,700	10,500,000	
San Luis Potosí	28,500				2,151,347	
Sinaloa	33,280	12,480		102	7,540,000	
Sonora	19,980	265,260				
Tabasco	9,500			500		
Tamaulipas	24,480					
Tlaxcala				250		
Veracruz	49,070	2,800			150,000	
Yucatán	8,400	48,000			4,812,000	
Zacatecas	3,600	1,920	1,920	3,600		8,400
Total	390,639	685,158	84,795	23,677	68,486,547	11,000

Fuente: SIAP

En México, la producción de carne de cerdo no se realiza con animales de razas puras, sino con las cruza de éstas, llamadas hibridaciones; entre las principales razas que sirven para ello están Duroc, Landrace, Hampshire, Chester White, Yorkshire, y Pietrain.

3.3 Situación municipal

A nivel municipal para el año 2012 se registraron los siguientes datos en la zona de los Tuxtlas en cuanto a población porcina y producción de carne de cerdo en canal.

Cuadro 7. Producción de carne en canal, año 2012 (Ton).

Municipio	Carne en canal				
	Producción (toneladas)	Precio (pesos por kilogramo)	Valor de la producción (miles de pesos)	Animales sacrificados (cabezas)	Peso (kilogramos)
Catemaco	485.52	23.44	11,378.20	6,438	75.415
San Andrés Tuxtla	540.075	23.53	12,710.40	7,158	75.451
Santiago Tuxtla	515.227	23.53	12,123.80	6,837	75.359

Fuente: SIAP.

La tendencia en el crecimiento de la población según el SIAP se detalla a continuación.

Cuadro 8. Ganado porcino en pie en la región de los Tuxtlas (Ton).

MUNICIPIOS/AÑOS	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Catemaco	*597.851	607.472	608.982	608.342	630.82	624.608	670.561
San Andrés Tuxtla	664.828	677.339	676.647	676.194	726.072	693.478	748.868
Santiago Tuxtla	634.948	644.984	645.436	643.34	668.804	664.719	713.511
Hueyapan de Ocampo	294.6	292.4	279.2	295.195	322.35	307.303	330.55
Totales	2192.227	2222.195	2210.265	2223.071	2348.046	2290.108	2463.49

Fuente: SIAP.

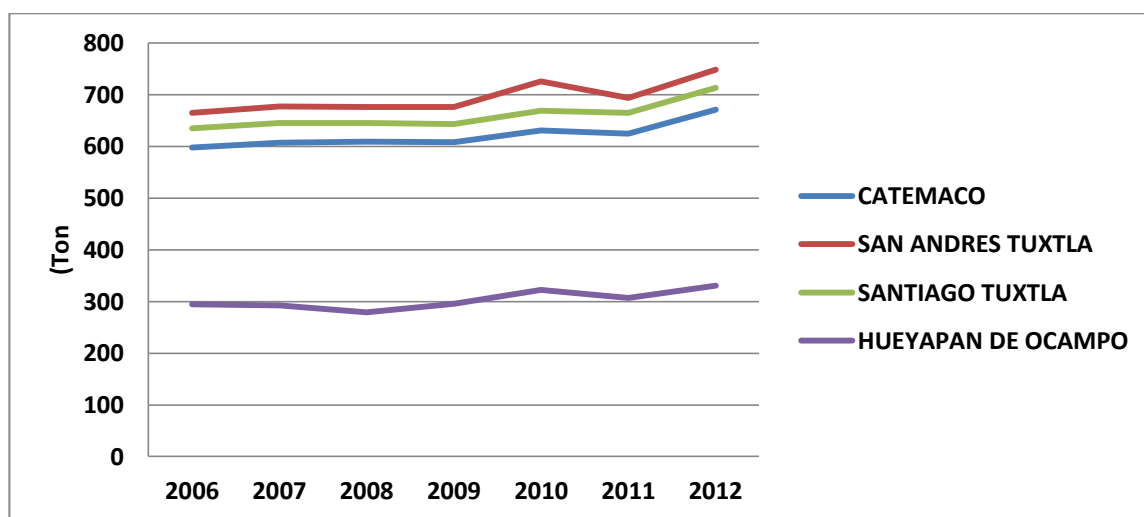
*Las cantidades del cuadro están expresadas en toneladas.

Como se observa, en general la tendencia en el crecimiento de la población se ha mantenido con una tendencia positiva, lo que hace potencialmente viable iniciar acciones encaminadas a mitigar y a aprovechar los desechos porcinos.

Las características de la industria porcina en la región de los Tuxtlas se presta a situaciones antagónicas, ya que por un lado no es una actividad a gran escala predominante en la zona por lo que no impacta en el medio ambiente a un grado crucial, sin embargo, el hecho de que sea de traspato hace difícil que las personas tomen medidas sanitarias con respecto al manejo de los desechos propios de las granjas porcícolas.

Por otro lado la gran cantidad de cuerpos de agua que existen en esta zona hace práctico y atractivo verter las aguas residuales en ellos, contaminando de manera permanente y creciente el entorno.

Gráfica 2. Ganado en pie en la región de los Tuxtlas (Ton), 2006-2012.



Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP.

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, el crecimiento de la población de ganado porcino en general ha ido en aumento, esto quiere decir que a la par se ha incrementado la producción de excretas, así como el incremento del potencial para producir biogás.

A continuación se muestran los pesos promedios de la población porcina registrada en cada municipio, con los cuales se calculó la población promedio por cada municipio. Este dato es importante porque se requiere para estimar la población existente por municipio.

Cuadro 9. Pesos promedios de la población porcina por municipios (kg).

Municipio/ año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Catemaco	*92.863	94.357	94.372	94.375	94.364	94.965	94.927
San Andrés Tuxtla	92.879	94.746	94.359	94.48	94.356	94.984	94.962
Santiago Tuxtla	92.869	94.351	94.348	94.359	94.424	95.041	94.92
Hueyapan de Ocampo	102.044	102.059	102.084	102.179	101.977	102.4	102.066

Fuente: SIAP.

*Las cantidades están expresadas en kilogramos

Con los datos anteriores se estimó la población por municipio.

Cuadro 10. Población estimada por municipio (cabezas).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Catemaco	*6438	6438	6453	6446	6685	6577	7064
San Andrés Tuxtla	7158	7149	7171	7157	7695	7301	7886
Santiago Tuxtla	6837	6836	6841	6818	7083	6994	7517
Hueyapan de Ocampo	2887	2865	2735	2889	3161	3001	3239

Fuente: elaboración propia con datos del SIAP.

*Datos redondeados.

*Se utilizó la producción de ganado en pie (Ton) y el peso promedio por municipio (kg) para estimar el número de cabezas de ganado

En general la población porcina ha aumentado en todos los municipios que conforman la región de los Tuxtlas, hay que aclarar que para fines de este estudio se abordaron solo los primeros tres municipios mencionados en el cuadro anterior, ya que son los que se ubican en la región geográfica en cuestión. Esta zona bien no es una zona por excelencia porcícola si cuenta con el potencial para aprovechar los desechos de esta actividad con el fin de beneficiar a las personas que viven en esta zona.

Por otra parte es evidente la importancia de emprender actividades que ayuden a mitigar los efectos negativos de las actividades productivas ya que el reaprovechamiento de los residuos puede traer beneficios económicos.

CAPÍTULO IV.MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Este estudio se realizó en la región de los Tuxtlas, y consistió en elegir una granja que actualmente cría cerdos para venta, pero que tiene una producción muy discreta. Esta explotación se encuentra ubicada en la comunidad Ojoxapan, localidad que pertenece a Catemaco, Veracruz. La granja actualmente tiene una producción pequeña, que produce como máximo dos camadas por ciclo reproductivo. Actualmente la dinámica de la granja no está ligada a ninguna otra actividad de la explotación familiar, el único beneficio es económico al vender los lechones.

Con respecto a las condiciones del entorno se consideró idóneo llevar a cabo este estudio, ya que actualmente la explotación no considera ninguna medida de mitigación de la contaminación por los desechos, a pesar de que el lago está a escasos 200 metros y hay un manantial a 20 metros. Por otro lado la infraestructura y el terreno disponible para incrementar la inversión y la población de cerdos son adecuados.

Dentro de los otros materiales considerados se encuentra el biodigestor, el cual es un prototipo diseñado para captar desechos orgánicos que al descomponerse (en condiciones anaeróbicas) liberan gases,

principalmente metano y dióxido de carbono. Este gas, conocido como biogás es almacenado en el biodigestor, con el fin de ser aprovechado posteriormente en actividades domésticas, sustituyendo al gas LP¹⁴ y también se puede utilizar para producir electricidad.

La FAO propone un prototipo denominado “Biodigestor plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas residuales servidas”, el cual es muy sencillo y económico. Las principales características de éste son: se hace con polietileno calibre 8 resistente a la luz ultravioleta (LUV), tiene capacidad para 9 m³ y el tiempo aproximado de retención para la digestión anaerobia de la materia orgánica diluida es de 30 a 40 días en zonas tropicales con temperaturas promedio de 30 °C (FAO, 1995).

Para construir un biodigestor de este tipo generalmente se utilizan los materiales descritos en la siguiente tabla:

¹⁴ El gas LP es un combustible derivado del petróleo, principalmente compuesto de propano y butano. Información obtenida de <http://www.sener.gob.mx/res/56/QueEsGasLP.pdf>

Cuadro 11. Materiales para elaborar un biodigestor artesanal tubular.

Descripción
Capa tubular de polietileno transparente de 280 cm de circunferencia (89 cm de diámetro y grosor de alrededor de 0.2 mm
tubo de cerámica de 100 cm de longitud y 15 cm de diámetro interno
Manga plástica con 21 mm de diámetro interno
Adaptador de PVC de 21 mm de diámetro y 1 mm de grosor y agujero central de 21 mm de diámetro
Zapatilla de goma de 10 cm de diámetro y 1mm de grosor y agujero central de 21 mm de diámetro
Zapatilla de PVC de 10 cm de diámetro y 1mm de grosor con agujero central de 21 mm de diámetro
Tubería de PVC con diámetro interno de 21 mm
Tubo rígido de PVC con 21 mm de diámetro interno o flexible
Tiras de goma de 5 cm
Botella plástica transparente
Codo de PVC DE 21 mm de diámetro interno
Piezas en T de PVC de 21 mm de diámetro
Cemento o cola para pegar piezas de PVC

Fuente: Instituto de Investigaciones Porcinas, 2007.

El diseño del biodigestor propuesto en este estudio es un diseño tubular, de fácil construcción que se puede construir con los materiales descritos anteriormente. Una de las ventajas de este tipo de diseño es que por su tamaño y tecnología se puede implementar en las explotaciones familiares de una manera rápida y eficiente.

En el siguiente cuadro se describen los costos de los biodigestores de acuerdo a la capacidad (m^3) y sus respectivos precios medidos en dólares.

Cuadro 12. Precios de biodigestores.

Modelo	Capacidad(m ³)	Cantidad mezcla (bidón)		Bidón (biol/ día)	Precio (US\$)
BB4	4	2	6	8	1230.5
BB6	6	3	9	12	1518
BB8	8	4	12	16	1863
BB10	10	5	15	20	2093
BB12	12	6	18	24	2208
BB16	16	8	24	32	2553
BB20	20	10	30	40	2898
BB25	25	12	36	48	3243
BB30	30	15	45	60	4048
BB40	40	20	60	80	4508

Fuente: https://tecnosol.online.com.ni/Files/presentacion_biodigestores.pdf.

Para este proyecto se partió del número de cerdos en la explotación para poder determinar la capacidad del biodigestor, en la metodología se hace el cálculo de las dimensiones.

En el proyecto de inversión elaborado para criar cerdos y vender pie de cría, que es el medio a través del cual se obtendrá todo el desecho orgánico que alimentará al biodigestor, se calculó tener por mes, un promedio de 48 cerdos en la granja, por lo que para estimar la cantidad de desechos mensual aproximada se recurrió a las siguientes tablas y a las siguientes conversiones.

Cuadro 13. Relación estiércol- biogás en tres tipos de animales.

Animal	kg estiércol/día	Biogásm ³ /día	Estiércol: agua
Vaca	15	0.6	1:1
Cerdo	2,5	0,13	1.3
Gallina	0.2	0,01	1.3

Fuente: FAO, 2012.

Los promedios de desecho varían de acuerdo al peso de cada ejemplar, es decir hay una relación directa entre la edad y la cantidad de desecho por día.

Cuadro 14. Etapas de crecimiento en cerdos y sus promedios de desechos.

Etapas	Estiércol kg/día	Est+ orina kg/día	Volumen l/día	Volumen m3/animal/mes
25-100 kg	2.3	4.9	7	0.25
Hembra	3.6	11	16	0.48
H. lactación	6.4	18	27	0.81
Semental	3	6	9	0.28
Lechón	0.35	0.95	1.4	0.05
Promedio	2.35	5.8	8.6	0.27

Fuente: Mariscal, 2007.

4.2. Metodología

La metodología de manera general consistió en elegir una explotación porcina de traspatio y analizar mediante una corrida financiera la factibilidad de incrementar la producción mediante la inversión, a la par se propuso la implementación de un biodigestor para la captación de los desechos del ganado porcino para la producción de biogás aprovechable en las actividades domésticas. Posteriormente, los ingresos por venta de biofertilizante y el ahorro por uso de biogás se incluyeron en la corrida financiera original y se contrastó con el análisis de rentabilidad inicial para determinar qué tanto inciden en los indicadores de rentabilidad estos ingresos.

En este sentido, para comprobar la hipótesis planteada se llevó a cabo un proceso de investigación y análisis que constó de tres partes.

En la primera parte se elaboró una corrida financiera, en la cual se describió un proyecto de producción de cerdos y se calcularon los indicadores financieros (TIR, VAN, B/C, etc.) para demostrar la factibilidad del proyecto. Se consideró que

el proyecto tendría una proyección a 5 años y estaría dedicado a la producción de cerdos para venta de pie de cría, esto permitió determinar que la población en la granja tendría fluctuaciones periódicas debido al nacimiento, mortalidad y venta de lechones. Con base en estas características se obtuvieron los indicadores financieros típicos, como la TIR, la VAN y la relación B/C.

En los anexos se encuentran los cuadros correspondientes a esta corrida financiera, los cuales son los siguientes: un cuadro que describe el desarrollo mensual de la piara durante los cinco años de vida del proyecto; el cuadro de medicamentos e insumos a emplear durante el periodo de actividad de dicho proyecto; los cuadros de inversión total, de programa de ventas, de presupuesto de ingresos, de presupuesto de costos y gastos y de estado de resultados; el cuadro de flujo neto anual, de flujo neto descontado y de relación beneficio costo; y finalmente el balance general.

Estos resultados se contrastaron posteriormente al incluir los ingresos por venta de biofertilizante en el cuadro de Presupuesto de ingreso, del Anexo 3 para ver como variaron los indicadores financieros.

En la segunda parte se hizo un análisis teórico de los aspectos técnicos relacionados con los desechos provenientes de la explotación del proyecto en estudio; también se obtuvieron datos del ganado porcino, referentes a la producción de excretas; y se obtuvieron datos acerca de la producción de biogás y su manejo para uso doméstico.

4.2.1 Cálculo de las dimensiones del biodigestor

Para calcular la capacidad del biodigestor que se adapte al tamaño de esta explotación se utilizó la metodología utilizada por la Asociación Colombiana de Porcicultores, en la cual se menciona que para un clima cálido (la zona donde se realiza el estudio es de clima cálido) se pueden utilizar en promedio 20 litros de agua por cerdo, por lo que la capacidad del biodigestor se calcula de la siguiente manera: se toma el peso promedio del cerdo y se multiplica por la producción de excretas por cada 100 kilos de peso (6.26%), en este caso el peso promedio utilizado estimado en la región de los Tuxtlas fue de 96.7 kg, y posteriormente por el número de cerdos promedio en la explotación familiar, entonces:

Cantidad de excretas por animal por día= $(96.7) (6.26\%) (48) = 6.05$

Se encontró que si el promedio de cerdos por mes es de 48¹⁵, y el promedio de kilogramos de estiércol por ejemplar por día es de 6.05, entonces eso da una cantidad diaria de 290.56 kg de estiércol por día, por lo que al mes en la granja se tendría una producción total de estiércol de 8716 kg.

Luego, si se consideran 20 litros de agua residual por cerdo (aproximadamente una relación de 1:3) esto quiere decir que:

Cantidad de agua usada en el lavado = $(20 \text{ litros}) (\text{número de cerdos})$

Cantidad de agua usada en el lavado = $(20) (48) = 960 \text{ litros/ día}$

¹⁵ Este promedio se obtuvo del cuadro "Desarrollo de la pira" del anexo, en el cual se desglosan la producción de cerdos durante los cinco años de vida del proyecto de inversión.

Luego se asumió que la densidad de las excretas es muy cercana a 1 (heces y orina) y el tiempo de retención recomendado es en promedio de 12 días¹⁶.

Capacidad necesaria del biodigestor= (960 litros) (12 días) = 11520 litros

Esto equivale a 11.52 m³ de capacidad en el biodigestor.

4.2.2 Cálculo de biogás producido

Para calcular el biogás producido se utilizó el concepto de sólidos volátiles, Martí Herrero (2008), el cual describe la siguiente metodología:

La producción de biogás diaria depende de la cantidad de sólidos volátiles que haya en la carga de estiércol.

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

Cuadro 15. Factor de producción final de biogás.

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

Fuente: Martí (2008).

¹⁶ Datos estimados de la Asociación Colombiana de Porcicultores.

Para calcular el biogás con esta metodología, se utilizó el dato de 112.8 kg como la carga diaria de estiércol de cerdo introducido al biodigestor. Luego calculamos los sólidos totales multiplicando el dato anterior por el factor 0.17.

$ST = [(carga\ diaria) (0.17)] / volumen\ líquido\ del\ biodigestor$

$$= [(112.8\ kg) (0.17)] / 11.52 = 1.66\ kg/m^3$$

Luego como $SV = ST \cdot 0.77\ kg/m^3/día$, entonces

$$SV = (1.66\ kg/m^3)(0.77) = 1.28\ kg/m^3/día$$

Luego se utilizó el factor general calculado para los porcinos, entonces

$$Producción\ de\ biogás = (SV) (0.39) = (1.28\ kg/m^3/día) (0.39) = 0.4992\ m^3_{biogás} / m^3_{VL}/día$$

Lo anterior quiere decir que se producirá $0.4992\ m^3$ de biogás por cada m^3 de volumen líquido del biodigestor, y como dicho prototipo tiene una capacidad de $11.52\ m^3$, esto quiere decir que el biogás producido por día será de:

$$= (0.4992\ m^3_{biogás} / m^3_{VL}/día) (11.52\ m^3) = 5.75\ m^3\ de\ biogás$$

Luego haciendo el cálculo mensual tenemos

$$Producción\ mensual = (5.75\ m^3) (30) = 172.52\ m^3$$

Por lo que el biogás producido al año sería de $2070\ m^3$

En estos cálculos también se midió el ahorro mensual obtenido al emplear el biogás en las actividades domésticas en lugar del gas LP. De acuerdo a Botero

y Preston la equivalencia de 1 m³ de biogás a gas LP es de 0.488 kg y de 0.884 lt respectivamente, por lo que se calculó que el biogás obtenido mensualmente representa un ahorro en kilogramos de LP de 84.19 kg, posteriormente para calcular el ahorro en pesos se utilizó el precio del kilogramo de gas manejado por la Asociación Mexicana de Distribuidores de Gas Licuado y Empresas Conexas A. C., que es de \$12.82, con lo que se obtuvo un ahorro de \$1079.31 por mes.

Cuadro 16. Conversión del gas LP a biogás.

Gas LP ahorrado (kg)	Precio del kilogramo de gas LP (\$)	Ahorro mensual por utilizar biogás (\$)
84.19	12.82	1079.31

Fuente: Elaboración propia.

Esto significa que al instalar el biodigestor y aprovechar el desecho de los cerdos, no solo se evitaría que ese desecho terminara en algún río o acumulándose en las cercanías, sino que también la granja familiar en general dejaría de depender al 100% del gas LP durante todo el ciclo del vida del biodigestor y a la vez accedería a un beneficio económico que se traduciría en un ahorro durante los 5 años de gas LP de \$44,833.

En la tercera parte se incluyó un análisis de sensibilidad en el que se agregó, en la parte de ingresos de la corrida financiera, el monto correspondiente a la venta de biofertilizante obtenido a través del biodigestor. Esto se hizo con el objetivo de analizar qué tanto incide este valor en los indicadores financieros de la corrida y determinar si estos ingresos son suficientes para hacer más rentable

el proyecto. En esta parte se tomó también en cuenta el costo de oportunidad de aprovechar el gas para satisfacer algunas actividades domésticas con el biogás almacenado en el biodigestor. Para ello se calculó cuánto biogás se produce se obtuvo su equivalencia en kilogramos de gas LP para determinar la cantidad en pesos que se ahorra al utilizar el biogás en lugar del gas licuado.

El análisis de sensibilidad se centró en la variación de la TIR y en la relación beneficio costo para poder determinar qué tanto cambio la rentabilidad del proyecto al incluir los ingresos por biofertilizante.

Tanto los ingreso por venta de biofertilizante como el ahorro que se obtiene al utilizar el biogás, en lugar del gas licuado en las actividades domésticas, fueron medidos como un costo de oportunidad, ya que el metano y el dióxido de carbono que pudieron haber ido a la atmósfera y contribuir al calentamiento global son aprovechados de manera sustentable y además reportan beneficios económicos.

En esta última parte se integró en la corrida financiera el importe en pesos de la cantidad total de biofertilizante producido con el fin de ver como cambiaban los indicadores de rentabilidad, este resultado se contrastó con la corrida inicial.

CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Resultados a nivel regional

La implementación de un biodigestor como mitigante de un proyecto de inversión de cerdo es factible desde el punto de vista económico y ambiental, pues aparte de que reporta ganancias a la familia que administra la explotación porcícola, favorece la disminución de emisiones de GEI.

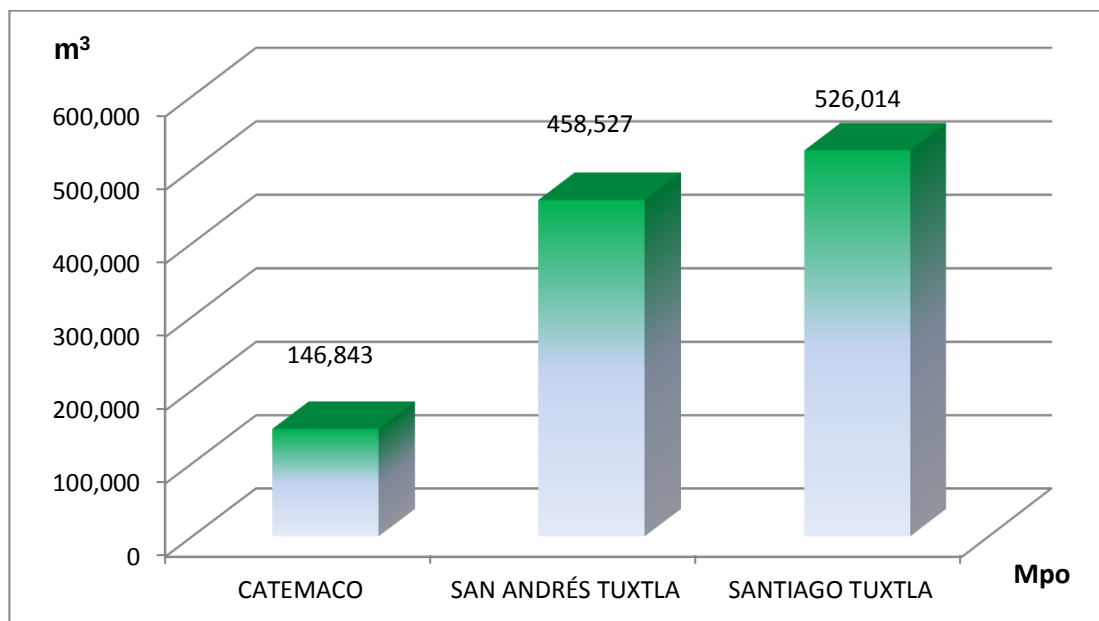
Potencial de generación de biogás y reducción de CO₂ equivalente en la zona de los Tuxtlas en el estado de Veracruz.

Potencial de generación de biogás

De acuerdo al Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, el estado de Veracruz en 2007 contaba con una existencia total de 585,920 cerdos, los cuales tienen un potencial de generación de 45,450,837 m³ de biogás. Si se utilizará el biogás como energía calórica o para producir energía eléctrica se tendría un potencial de reducción de 225,796 toneladas de CO₂ e. por el quemado de biogás.

La región de los Tuxtlas a nivel geográfico se compone de tres municipios, Catemaco, San Andrés Tuxtla y Santiago Tuxtla.

Gráfica 3. Potencial de Generación de biogás en la región de los Tuxtlas (Metros cúbicos).



Fuente: Elaboración propia.

La región de los Tuxtlas tiene un potencial de generación de 1,131,384 m³ de biogás. El municipio de Santiago Tuxtla tiene una existencia total de 6,781 cerdos de acuerdo al Censo Agrícola Ganadero y Forestal 2007. Este municipio tiene un potencial de generación de 526,014 metros cúbicos y representa el 46% del potencial de la región.

Otro municipio importante de la zona de los Tuxtlas lo representa San Andrés Tuxtla, el cual representa el 41% del potencial de generación de biogás para la región.

En tercer lugar está Catemaco, que reporta una considerable menor cantidad ya que reporta solo 146 843 m³.

Reducciones de CO₂ equivalente.

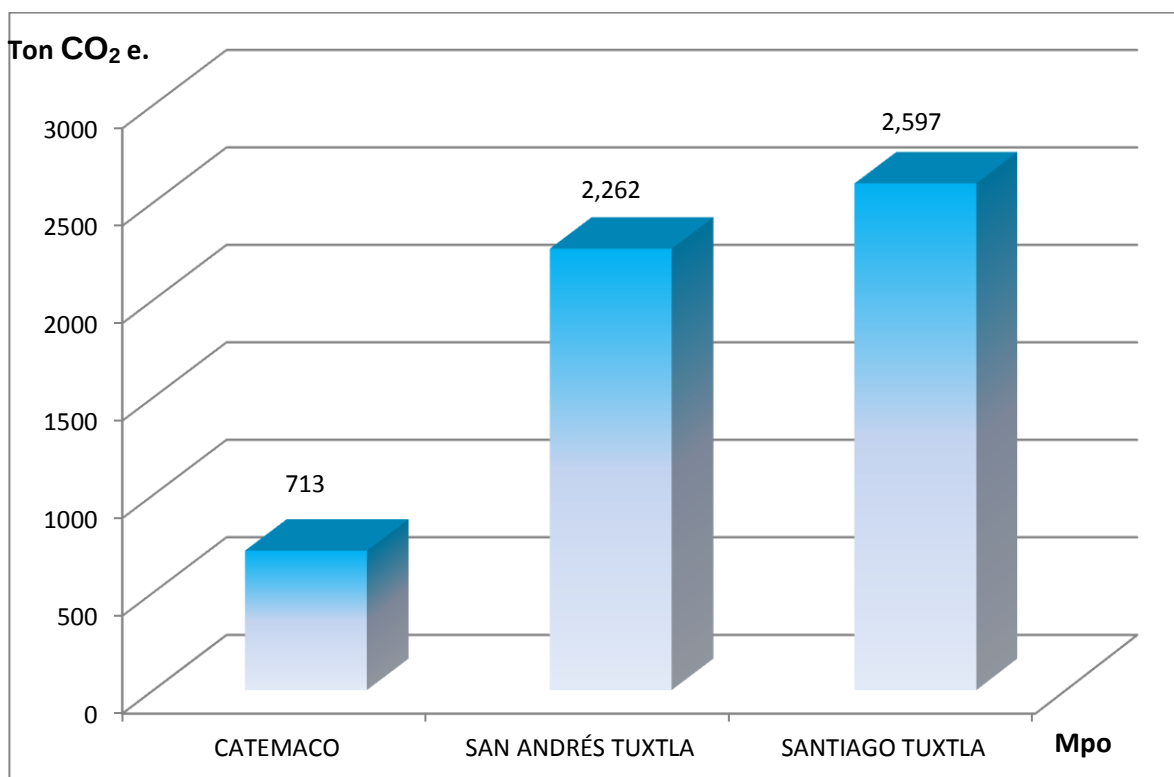
Las energías renovables han cobrado gran importancia a partir de finales del siglo XX. Su éxito se basa en que las unidades de producción pueden generar su propia energía y reducir considerablemente costos de producción. Pero el efecto multiplicador se debe fundamentalmente a que organismos internacionales impulsaron la implementación de tecnología renovable en países en desarrollo para combatir el problema de concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero.

La actividad porcícola en la región de los Tuxtlas tiene un potencial de reducción de 5,572 toneladas de CO₂ equivalente si se implementarán biodigestores para producir biogás.

Si comparamos este resultado con los de la granja familiar podemos ver que en realidad si se tiene un gran potencial de reducción de carbono equivalente pero se necesitan emprender las acciones adecuadas para aprovechar las políticas ambientales desde el punto de vista económico, que hagan ver que si se puede impactar en la economía de las familias y que también se puede ayudar a mitigar el impacto ambiental.

El potencial de reducción de emisiones en los Tuxtlas es de tomarse en cuenta, siendo el municipio de Santiago Tuxtla el que más potencial de reducción de GEI reporta en la región.

Gráfica 4. Potencial de Reducción de emisiones en la región de los Tuxtlas (Toneladas CO₂ e).



Fuente: Elaboración propia con la Metodología ACM0010. "Consolidated baseline methodology for GHG emission reductions from manure management systems".

La potencial de reducción de emisiones de CO₂ e. es directamente proporcional al número de cerdos. De esta forma el municipio de Santiago Tuxtla tiene un potencial de reducción de 2,597 toneladas de CO₂ equivalente.

5.2. Análisis financiero sin ingresos por venta de biofertilizante y sin ahorro.

5.2.1 Desarrollo de la piara

De acuerdo a la metodología descrita anteriormente en la primera fase se diseñó la corrida financiera. El desarrollo de la piara está descrito en los

cuadros del Anexo 1, en él se describen las fluctuaciones de la población de cerdos durante los cinco años. Debido a que la población varía por los ciclos reproductivos y por las ventas se estimó un promedio de población durante los cinco años, el cual fue de 48 cerdos. En este primer análisis se incluyeron los siguientes conceptos:

Cuadro 17. Datos de la piara.

Total de hembras
Total machos
Vacías
Gestación (1 mes)
Gestación (2 meses)
Gestación (3 meses)
Gestación/lactancia
Lactancia
Número de lechones nacidos
Mortalidad de lechones
Número de lechones destetados
Total
Total consumo alimento
Total costo de alimento

Fuente: Elaboración propia con datos del Anexo1.

Estos conceptos fueron detallados durante el periodo de cinco años de manera mensual, debida a que se incluyen los ciclos reproductivos de las cerdas y estos duran aproximadamente tres meses.

5.2.2. Corrida final

Inversión inicial

La inversión total para llevar a cabo el presente proyecto fue de \$200,896.00, la cual se divide en aportación de socios igual a \$100,896.00 por concepto de terrenos, chiqueros y capital de trabajo y la aportación de una fuente externa

(programa gubernamental) con un monto de \$100,000.00, por concepto de capital de trabajo, vientres y sementales (ver detalles en anexo 3).

Presupuestos de costos totales de producción

Los costos totales anualmente varían de acuerdo a que el número de lechones también será diferente en cada año, así como los insumos requeridos, sin embargo los salarios se consideran constantes a lo largo del proyecto , porque se supone que es una explotación familiar que siempre tendrá el mismo número de personas aportando la mano de obra.

Programa de ventas (ingresos)

Se proyectó un volumen de ventas de 193 lechones en el primer año, 184 en el segundo y tercero, 165 en el cuarto y 137 en el quinto año. A un precio de \$630.00 por lechón. Ver cuadro de Programa de ventas.

Por otro lado el análisis del cuadro de presupuesto de costos y gastos reportó un punto de equilibrio de 35%, esto quiere decir que cuando el proyecto de inversión funcione a un 35% de su capacidad total se recuperarán todo los costos de inversión y a partir de ahí se reportarán solo ganancias.

El costo para el primer año será de \$87,566.00 y cambiará durante los 4 años siguientes, estos divididos en costos fijos igual a \$17,670.00 y costos variables de \$69.896.00.00. Ver cuadro de Presupuesto de Costos y Gastos. El reparto de utilidades será del 10% de la utilidad de operación en cada año de funcionamiento del proyecto. (Ver cuadro de Estado de Resultados Proforma).

Con respecto al estado de resultados los ingresos se presentan en la siguiente tabla.

Cuadro 18. Estado de resultados.

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos Totales	00	121,716	115,920	115,794	103,698	86,436
Egresos totales	00	87,566	84,007	75,624	69,325	60,906
Utilidad de operación	00	34,150	31,913	40,170	34,373	25,530
Impuestos Sobre la Renta	00	00	00	00	00	00
Reparto de utilidades a Trab.		3,415	3,191	4,017	3,437	2,553
Utilidad Neta	00	30,735	28,722	36,153	30,936	22,977

Fuente: Elaboración propia con datos de la corrida financiera (Anexo3).

De acuerdo a la tabla anterior, las utilidades netas representan en promedio entre un 20 y 30% de los ingresos totales en cada año, no se consideran los impuestos porque la figura legal es un grupo de trabajo.

Periodo de recuperación del capital

El periodo de recuperación del capital que aporte la fuente externa, se hará en un periodo de 5 años a un monto de \$20,000.00 anualmente a una caja de ahorro para hacer frente a los imprevistos que se presenten durante la vida del proyecto. (Ver detalle en el cuadro de Estado de Resultados Proforma).

5.2.3. Presupuesto de reinversiones

En este caso, los activos fijos que se adquirirán tienen una vida útil de 10 años, pero este proyecto está considerando los primeros 5 años, por lo tanto no se consideran los reemplazos en este cuadro ya que se contemplan en el desarrollo de piara. Para la adquisición del capital de trabajo, esto se hará

mensualmente de acuerdo a los requerimientos de la piara (Anexo 5). Las reinversiones en capital de trabajo se harán cada tres meses, teniendo 4 adquisiciones durante el año.

5.2.4. Análisis de rentabilidad

Flujo de efectivo

El Flujo Neto de Efectivo es de \$11,485.00 para el primer año, sin embargo cada año presenta un comportamiento diferente ya que depende de la producción y de la posterior venta de los lechones. Ver cuadro de Estado de Resultados Proforma.

TREMA (Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptable)

Para la determinación de la TREMA, se tomó en cuenta un índice inflacionario y también se consideró una prima de riesgo por invertir en el proyecto, por lo que se consideró de 12%,

VAN (Valor Actual Neto)

El presente proyecto arroja un VAN de 140,779.00, lo cual nos indica que durante la vida del proyecto, se podrá recuperar toda la inversión que se haga y se tendrá una utilidad de \$140,779.00. (Ver cuadro de Flujo Neto Descontado)

TIR (Tasa Interna de Retorno)

La Tasa Interna de Retorno es de 16.67%, lo que indica el proyecto tiene una rentabilidad del 16.67%, durante la vida útil del mismo. (Ver cuadro de Flujo

Neto Descontado en anexo 8). Como se observa la TIR es superior a la TREMA (12%), por lo que se deduce que el proyecto es rentable.

Relación Beneficio/Costo

El proyecto presenta una Relación Beneficio / Costo de 1.35, lo que indica que por cada peso que se invierta en el proyecto, las socias tienen una utilidad de 35 centavos. (Ver cuadro de Relación Beneficio / Costo).

5.2.5. Balance general

El Balance General se puede ver con mayor detalle en los Anexos.

5.3. Análisis financiero con ingresos por venta de biofertilizante y ahorro

El proyecto de inversión de producción de cerdos para venta de pie de cría es factible de acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, sin embargo, el objetivo de este estudio es ver qué tanto influyen en los indicadores de rentabilidad dos conceptos nuevos: los ingresos por venta de biofertilizante y el ahorro al dejar de usar gas LP y sustituirlo por el biogás obtenido por el biodigestor.

Para este análisis, en el cuadro de presupuestos de ingresos se introdujo el ingreso anual por venta de biofertilizante, para estimar este resultado se consideró una relación 1:3 en la proporción de estiércol y agua., como dato se calculó de acuerdo a las dimensiones del biodigestor y con base en la tabla 12, se tiene que aproximadamente para un biodigestor de 12 m³ se produce una cantidad de biol por día de 24 litros, lo que reportó un ingreso promedio

estimado de \$91.2 al día, el cual tiene un precio promedio en el mercado de \$3.80, se hicieron los cálculos correspondientes y se estimó un ingreso anual de \$32,832.

También se incluyó el ingreso por ahorro en el uso de gas LP en las actividades generales de la granja familiar, que fue de \$1079.31 anuales, según el cuadro 16 en el primer cuadro se presentan los ingresos solo por la venta de lechones y en el segundo cuadro se incluyen estos conceptos anteriormente mencionados.

Cuadro 19. Ingresos por venta de lechones.

Concepto	Precio	Actual	1	2	3	4	5
Lechones	630	00	121,716	115,920	115,794	103,698	86,436
Total		00	121,716	115,920	115,794	103,698	86,436

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Ingresos extras por venta de biofertilizante y ahorro.

CONCEPTO	Precio	ACTUAL	1	2	3	4	5
		L					
Lechones	630	00	121,716	115,920	115,794	103,698	86,436
Venta de biofertilizante			32,832	32,832	32,832	32,832	32,832
Ahorro de gas LP			1079.31	1079.31	1079.31	1079.31	1079.31
TOTAL		00	155,627	149,831	149,705	137,609	120,347

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los cuadros anteriores se observó que los ingresos de venta de biofertilizante y ahorro son considerables. Por otro lado con respecto al punto de equilibrio, este se movió de 35 a 23%, esto quiere decir que gracias a los

nuevos ingresos, y aun incluyendo el costo del biodigestor el proyecto empezara a percibir ganancias cuando alcance el 23% de su capacidad de producción, pues se cubrirá el monto de los costos de inversión.

En referencia al VAN mínimo, este varió de \$ 100.324 a \$197,395, y la VAN máxima varió de \$140, 779 \$ 257,784 lo que quiere decir que el proyecto que incluye los nuevos ingresos es más rentable. Por otro lado la TIR registró un decremento, eso lo podría explicar la relación inversa que tienen estos dos indicadores, no obstante, la variación es discreta ya que se movió de 16.67 a 16.53%, este resultado muestra que el proyecto sigue siendo rentable. Finalmente la relación beneficio-costos (B/C) se incrementó de 1.35 a 1.63, esto quiere decir que si antes se ganaban 35 centavos por cada pesos invertido, al incluir los ingresos por venta de biol y el costo de oportunidad que representa el biogás se tiene que por cada peso invertido se alcanza una ganancia de 64 centavos por cada peso invertido.

Este análisis revela que efectivamente hay una influencia positiva al incluir estos conceptos nuevos en el análisis del proyecto. La implementación de un biodigestor en cierto sentido influye en un proyecto de inversión pero en este caso es mínima por el tamaño del proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio tuvo como objetivo analizar el impacto de implementar un biodigestor en una granja familiar de la zona de los Tuxtas con producción porcina, para esto se midió la variación de los indicadores financieros al incluir los ingresos por venta de biofertilizante y el ahorro al dejar utilizar gas LP (costo de oportunidad) y emplear el biogás proveniente del biodigestor.

Los resultados muestran que efectivamente hay un cambio en los indicadores de rentabilidad. Dentro de la aportación que hace el biodigestor al generar ingresos, se muestra que la mayor cantidad monetaria es por la venta de biofertilizante y en segundo lugar por el ahorro al usar el biogás.

Esto refleja dos cosas, por una parte el biogás sustituye al 100% las funciones del gas licuado en las actividades productivas y familiares; y por otro lado la venta de biofertilizante tiene un potencial económico importante, sustentado en los beneficios como un fertilizante amigable con el ambiente. Por otro lado el costo del biodigestor, a pesar de que es una inversión inicial fuerte, no alcanza a impactar en la rentabilidad del proyecto, ya que la TIR se mantiene por arriba del 16% y por otra parte la relación B/C reporta un incremento de 28 centavos.

La venta de biofertilizante y el uso de biogás son temas que han sido abordados en las últimas décadas a nivel institucional y a nivel de investigación y los

resultados muestran que si es factible considerarlos en explotaciones a pequeñas escala.

Los resultados sugieren, que no se dejen de abordar estos proyectos en el sector de los pequeños productores, pues si bien los resultados de rentabilidad son discretos en el manejo de los ingresos por conceptos ambientales, si hay beneficios puntuales por la implementación del biodigestor, ya que se produce biogás aprovechable en actividades productivas y familiares y de los productos derivados de su implementación también se obtienen beneficios.

La implementación de un biodigestor representa la oportunidad de ahorrar al dejar de comprar gas LP y además mitigar las externalidades negativas en el entorno al aprovechar todo el desecho orgánico que en otro momento pudo haber terminado en las corrientes de agua y en los mantos freáticos, o en el peor de los casos en las zona aledañas causando problemas de sanitarios y de salud pública.

Los GEI son un tema nuevo que requiere encontrar mecanismos que impacten y estimulen la adopción de proyectos que pueden representar un beneficio dentro de las economías familiares de las zonas rurales. De esta manera la adopción de energías renovables, en este caso el uso de biodigestores favorece la reducción de emisiones y el beneficio económico dentro de las unidades de producción, favoreciendo el cuidado del medio ambiente y así contribuir a la preservación de los ecosistemas de la región de los Tuxtlas.

Con base en los resultados se recomienda que se abran los canales de información y de transferencia de tecnología con el fin de que se adopten tecnologías eficientes y que reduzcan impactos negativos en el ambiente, y que de paso se acabe con los paradigmas presentes en este sector.

Que se busquen mecanismos que incentiven a habitantes de zonas rurales mediante acciones y políticas que realmente le den valor a las actividades emprendidas por ellos mismos, ya que al menos en esta escala conceptos como los bonos de carbono no representan un elemento de interés para tomarlo en cuenta dentro de los proyectos emprendidos.

Que se eficienten las vías para que los proyectos MDL lleguen a las zonas con potencial y que incentiven a la organización comunitaria y pueda así crearse una sinergia que haga que las actividades productivas y el medio ambiente puedan interactuar de manera armónica.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Angulo, G. A. J. (2007). Los permisos de emisión negociables como instrumento de política ambiental y su aplicación en España. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, vol. 3, núm. 7. 14 p.
- Casas, P. M. A., Rivas, L. B. A., Soto, Z. M., Segovia, L. A., Morales, M. H. A., Cuevas, G. M. I. & Keissling, D. C. M. (2009). Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de Delicias, Chih. *Cuarta Época. Año XIII*, vol. 24, 12 p.
- Castro, J. X. M. (2012). Valuación de un proyecto de producción de la flor rosa en invernaderos de alta tecnología con destino al mercado de Estados Unidos con el método de opciones reales. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo.
- Catemaco.info. (2013). Clima de los Tuxtlas. Consultada 18-10-2013. Disponible en: <http://www.catemaco.info/s/informacion/clima.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO).2011.Manual de Biogás. Santiago de Chile.
- Financiera Rural. (2012). Monografía de Ganado Porcino. 14 p.
- Finanzas carbono. Plataforma sobre financiamiento de carbono para América Latina. Consultado 15-09-2013. Disponible en: <http://finanzascarbono.org/mercados/>
- Fuentes, L. A. F. Tesis.Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automático para generación de biogás en la Finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra.
- Hernández, A. D. (2002). *Opciones reales: el manejo de las inversiones estratégicas en las finanzas corporativas*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Hernández, T. O. (2011). *El mercado de bonos de carbono en México y los beneficios de los certificados de reducción de emisiones*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México.

- Instituto de Investigaciones Porcinas. (2007). Biodigestores. *Boletín Técnico Porcino* Núm 5. 14 p.
- International Carbon Bank & Exchange. Consultada 12-09-2013. Disponible en: <http://www.icbe.com/carbondatabase/CO2volumecalculation.asp>
- Investing.com. Emisiones de carbono futuros. Consultada 20-09-2013. Disponible en: <http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>
- Londoño, C. L. (2006). Los recursos naturales y el medio ambiente en la economía de mercado. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, vol. 4, núm. 1, pp. 25-42.
- López P. A. C. (2003). Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás. Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de la Porcicultura. Bogotá. Colombia.
- Lorenzo, A. Y. & Obaya, A. M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XXXIX, núm. 1, 2005, pp. 35-48.
- Mariscal, L. G. (2007). Tratamiento excretas cerdo. Depósito de documentos de la FAO. 9 p. Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s08.htm>.
- Martí, H. J. 2008. Biodigestores de bajo costo. Para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos. *Red de Biodigestores para América Latina y El Caribe*. 12 p.
- Martí, H. J. 2008. Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación. GTZ-Energía. Bolivia.
- Muñante P. D.. 2004. Apuntes del curso Formulación Y Evaluación de Proyectos de Inversión, DICEA, UACH. 2001 p.
- Ñáñez, M. E. (2003). Cambios climáticos y océanos, desafío para el siglo XXI. *Umbral científico*, núm. 003, pp. 25-41.
- ProChile. Información Comercial. (2012). Estudio de mercado de Bonos de Carbono para el mercado alemán. 31 p.
- Quintero, P. J. C. (2009). Planificación de inversiones financieras. Santa Clara, Cuba. 31 p.

- Rivas-Lucero, B. A., Segovia-Lerma, A., Morales-Morales, H. A., Hermosillo-Nieto, J. G. & Magaña-Magaña, J. E. (2008). Plan de gestión para el desarrollo sostenible de explotaciones lecheras de la cuenca de Delicias. *Tecnociencia Chihuahua*, vol. II, núm. 1, pp. 41-56.
- Rivas, L. B. A., Zúñiga, A. G., Sáenz, S. J. I., Guerrero, M. S., Segovia, L. A. & Morales, M. H. A. (2012). Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la región centro-sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. XVI, núm. 30, pp. 872-885.
- Román, P. (2012). Talle-Biodigestores y biogás. FAO. 23 p.
- Sabogal, A. J. Moreno, C. E. & Ortega, G. G. A. (2009). Procesos de certificación de proyectos de captura de gases de efecto invernadero (GEI). En los Mercados Internacionales de Carbono. *Gestión y Ambiente*, vol. 12, núm. 3, pp. 7-19.
- SAGARPA. (2009). Diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México. 35 p.
- SAGARPA. SIAP. (2013). Capacidad instalada para sacrificio de especies pecuarias. 8 p.
- Sarria, B. P. (2002). Capacitación para el manejo integral y sostenible de cerdos con pequeños productores de tres veredas núcleo del departamento de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, 30 p.
- SEMARNAT. (2006). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 México. Resumen Ejecutivo, 32 p.
- SEMARNAT. (2013). Biosfera, Sala de prensa on-line de la Semarnat. Consultada 10-09-2013. Disponible en: http://dsiaplicaciones.semarnat.gob.mx/sdp2009/index.php?option=com_content&view=article&id=2707:cop16-cero-emisiones&catid=50:comunicados&Itemid=110
- SEMARNAT. (2013). Biosfera, Sala de prensa on-line de la Semarnat. Consultada 10-09-2013. Disponible en: <http://saladeprensa.semarnat.gob.mx/index.php/actividades-y-eventos/cursos/180-procedimientos-para-la-obtencion-de-bonos-de-carbono>

- SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. (2012). Cambio climático en México. Consultada 15-10-2013. Disponible en: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/>
- Solórzano, O. G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. *Gaceta Ecológica*, núm. 66, pp. 7-15.
- Soria, F. M. de J., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers, B. J., Alcántar, G. G., Trinidad, S. J., Borges, G. L. y Pereyda, P. G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra* 19, pp. 353-362.
- Universidad Autónoma de México. Instituto de Biología. Consultada 15-09-2013. Disponible en: <http://www.ibiologia.unam.mx/tuxtlas/localizacion/generalidades/frame.htm>
- Vera, R. I. (2011). *Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de microgeneración*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Vázquez, G. A. (2010). El mercado de los bonos de carbono. *Comisión de Derecho Ambiental del Ilustre y Nacional Colegio de Abogados de México*.

ANEXOS

Anexo 1

	1 MES			2 MES			3 MES			4 MES		
	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
Total de hembras	12			12			12			12		
Total machos	1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
Vacias	8	720	2880	1	90	360	1	90	360			
Gestacion (1 mes)	0			11	1155	4967				1	105	452
Gestacion (2 meses)	0						11	1155	4967			
Gestacion (3 meses)	0									11	1155	4967
Gestacion/lactancia	0											
Lactancia	0											
Numero de lechones nacidos	0											
Mortalidad de lechones	0											
Numero de lechones destetados	0											
Total				13			13			13		
Total consumo alimento		840			1365			1365			1380	
Total costo de alimento			3360			5807			5807			5898

5 MES			6 MES			7 MES			8 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
						11	990	3960	2	180	720
									9	945	4064

1	105	452									
			1	105	452						
11	1155	4967				1	105	452			
			11	1254	5392				1	105	452
			110						10		
			9						1		
			101	304	1427				9	28	130
13			114			13			22		
	1380			1783			1215			1378	
		5898			7751			4892			5845

9 MES			10 MES			11 MES			12 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
2	180	720									
1			2	210	903						
9	945	4064	1			2	210	903			
			9	945	4064	1			2	210	903
						9	945	4064	1		
									9	1026	4412
									90		
									7		
									83	248	1,167
13			13			13			95.80		
	1245			1275			1275			1604	
		5264			5447			5447			6962

1 MES			2 MES			3 MES			4 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento

12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
9	810	3240	2			3	270	1080	1		
			8	840	3612	1			2	315	1355
						8	840	3612	1		
									8	840	3612
2	210	903									
1			2	228	980						
10			20								
1			2								
9			18	55	259						
22			31.40			13			13		
	1140			1243			1230			1275	
		4623			5332			5172			5447

5 MES			6 MES			7 MES			8 MES		
N. animales	Consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
						8	720	2880	1		
1									8	840	3612
2	315	1355	1								
1			2	315	1355	1					
8	840	3612	1			2	315	1355	1		
			8	912	3922	1			2	228	980.4
			80			10			20		
			6			1			2		
			74	221	1,038	9			18	55	259
13			86.60			22			31.40		

	1275			1568			1155			1243	
		5447			6794			4715			5332

9 MES			10 MES			11 MES			12 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
3	270	1080	2			1					
			2	210	903	1			1		
8	840	3612				2	210	903	1		
			8	840	3612				2	315	1355
						8	840	3612			
1			0						8	912	3922
10			10						80		
1			0						6		
9			10						74	221	1,038
22			23			13			86.60		
	1230			1170			1170			1568	
		5172			4995			4995			6794

1 MES			2 MES			3 MES			4 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		

1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
8	720	2880	1			3	270	1080	1		
			7	735	3160.5				3	315	1355
1						7	735	3160.5			
1			1						7	735	3160.5
2	315	1355	1			1					
			2	228	980.4	1			1		
			20			10			10		
			2			1			1		
			18	55	259	9			9		
13			31.40			22			22		
	1155			1138			1125			1170	
		4715			4880			4721			4995

5 MES			6 MES			7 MES			8 MES		
N. animales	Consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
2			1			7	630	2520			
			1			1			7	735	3160.5
3	315	1355				1			1		
			3	315	1355				1		
7	735	3160.5				3	315	1355			
			7	630	2709				3	342	1470.6
			70						30		
			6						2		
			64	193	908				28	83	389
13			77.40			13	1065		40.60		
	1170			1258						1280	
		4995			5452			4355			5500

9 MES			10 MES			11 MES			12 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
3	270	1080	2			1			2		
			1			2					
7	735	3160.5		0	0	1			2		
1			7	735	3160.5		0	0	1		
1			1			7	735	3160.5		0	0
			1			1			7	798	3431.4
			10			10			70		
			1			1			6		
			9			9			64	193	908
13			22			22			77.40		
	1125			855			855			1111	
		4721			3641			3641			4819

1 MES			2 MES			3 MES			4 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
8	840	3360	1	90	360	1			2		

1			7	735	3160.5	1	105	451.5	1		
			1			7	735	3160.5	1	105	451.5
2						1			7	735	3160.5
1			2						1		
	0	0	1			2					
0			10			20					
			1			2					
			9			18					
13			22			31			13		
	960			945	4001		960			960	
		3840			4001			4092			4092

5 MES			6 MES			7 MES			8 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
1			1			7	735	2940	2	180	720
1			1			1			6	630	2709
1			1			1			1		
1	105	451.5	1			1			1		
7	735	3160.5	1	105	451.5	1			1		
1			7	798	3431.4	1	114	490.2	1		
10			70			10			10		
1			6			1			1		
9			64	193	908	9			9		
22			77.40			22			22		
	960			1216			969			930	
		4092			5271			3910			3909

9 MES			10 MES			11 MES			12 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo

	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
2			1			2			2		
1	105	451.5	2						1		
6	630	3160.5	1	105	451.5	2					
1			6	735	3160.5	1	105	451.5	2		
1			1			6	735	3160.5	1	105	451.5
1			1			1			6	684	2941.2
10			10			10			60		
1			1			1			5		
9			9			9			55	166	778
22			22			22			68.20		
	855			960			960			1075	
		4092			4092			4092			4651

1 MES			2 MES			3 MES			4 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
7	735	2940	2	180	720	3			2		
1			6	630	2709	1	105	451.5	1		
1			1			6	735	3160.5	1	105	451.5
			1			1			6	735	3160.5
2						1			1		

1	114	490.2	2						1		
10			20						10		
1			2						1		
9			18						9		
22			31			13			22		
	969			930			960			960	
		3910			3909			4092			4092

5 MES			6 MES			7 MES			8 MES		
N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			12			12			12		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
2			2			6	540	2160	2	180	720
1			1			2			5		
1			1			1			2		
1	105	451.5	1			1			1		
6	735	3160.5	1	105	451.5	1			1		
1			6	684	2941.2	1	114	490.2	1		
10			60			10			10		
1			5			1			1		
9			55	166	778	9			9		
22			68.20			22			22		
	960			1075			774			300	
		4092			4651			3130			1200

9 MES	10 MES	11 MES	12 MES
-------	--------	--------	--------

N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo	N. animales	consumo	costo
	alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento		alimento	alimento
12			11			11			11		
1	120	480	1	120	480	1	120	480	1	120	480
2			2			2			2		
1	105	452	1			1			1		
5	525	2257.5	1	105	452	1			1		
2			5	525	2257.5	1	105	452	1		
1			1			5	525	2257.5	1	105	452
1			1			1			5	570	2451
10			10			10			50		
1			1			1			4		
9			9			9			46	138	649
22			21			21			58		
	750			630			750			813	
		3189			2709			3189			3551

Anexo 2

[illegible]

[illegible]

PRESUPUESTO DE COSTOS Y GASTOS (\$)

		Años										
CONCEPTO	ACTUAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA
COSTOS FIJOS	00	17,670	17,670	17,670	17,670	17,670						88,350
Depreciación		750	750	750	750	750						
Sueldos y salarios	00	16,920	16,920	16,920	16,920	16,920						
Impuestos	00	00	00	00	00	00						
0	00	00	00	00	00	00						
0	00	00	00	00	00	00						
COSTOS VARIABLES	00	69,896	66,337	57,954	51,655	43,236						289,077
	00											
Adquisición materia prima	00	69,896	66,337	57,954	51,655	43,236						
0												
Adquisición toretes												
gastos financieros												
												00
TOTAL	00	87,566	84,007	75,624	69,325	60,906						

Punto de equilibrio P.E.=		32,290	31,924	28,986	28,446	27,742						149,486
Punto de equilibrio (%) =		21	21	20	21	23						21

CF

PUNTO DE EQUILIBRIO P.E.=

PUNTO DE EQUILIBRIO = 21 %

1- CV

ESTADO DE RESULTADOS PROFORMA (\$)

		Años									
CONCEPTO	ACTUAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos Totales	00	154,370	148,574	148,448	136,352	119,090					
Egresos totales	00	87,566	84,007	75,624	69,325	60,906					
Utilidad de operación	00	66,805	64,567	72,825	67,028	58,185					
Impuestos Sobre la Renta	00	00	00	00	00	00					
Reparto de utilidades a Trab.		6,680	6,457	7,282	6,703	5,818					
Utilidad Neta	00	60,124	58,111	65,542	60,325	52,366					
Depreciaciones y amortizaciones	00	750	750	750	750	750					
Pago del credito	00	00	00	00	00	00					
Recuperación de aportación del Promusag (100000)		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000					
Flujo neto de efectivo	00	40,874	38,861	46,292	41,075	33,116					

Anexo 3

FLUJO NETO ANUAL Y ACUMULADO

AÑO	Ingresos	Egresos	Inversión fija y dif.	Impuestos	Capital de Trabajo	Valores Residuales	Recuperación de Act. y Cap.	Flujo Anual	Flujo Acumulado
0	00	00	96,000	00	69,896	00	00	-96,000	-96,000
1	154,370	87,566	00	00	00		69,896	136,700	40,700
2	148,574	84,007	00	00	00			64,567	105,268
3	154,370	87,566	00	00	00			66,805	172,072
4	148,574	84,007	00	00	00			64,567	236,640
5	154,370	87,566	00	00	00		96,000	162,805	399,444

FLUJO NETO DESCONTADO

AÑO	Flujo Neto	Factor de Desc. (1) 12.0%	Flujo Neto Descantado	Factor de Desc. (2) 20.0%	Flujo Neto Descantado
0	-96,000	1.000	-96,000	1.000	-96,000
1	136,700	0.893	122,054	0.833	113,917
2	64,567	0.797	51,473	0.694	44,838
3	66,805	0.712	47,550	0.579	38,660
4	64,567	0.636	41,034	0.482	31,138
5	162,805	0.567	92,380	0.402	65,428
		VAN/1	258,490	VAN/2	197,981
				TIR= 16.53 %	

RELACION BENEFICIO - COSTO

Tasa mínima de rendimiento aceptable =

AÑO	Ingresos Totales	Factor de Actualización	Valor Actualizado	Egresos Totales	Factor de Actualización	
0	00	1.000	00	96,000	1.000	
1	224,266	0.893	200,238	87,566	0.893	
2	148,574	0.797	118,443	84,007	0.797	
3	154,370	0.712	109,878	87,566	0.712	
4	148,574	0.636	94,422	84,007	0.636	
5	250,370	0.567	142,067	87,566	0.567	
	926,156		665,047	526,711		

Valor Actual Neto (Ingreso

Anexo 4

**BALANCE INICIAL
(PESOS)**

CONCEPTOS			AÑO	CONCEPTOS			AÑO
			1°				1°
A	ACTIVO CIRCULANTE		69,895.72	D	PASIVO FIJO		0.00
	1	CAJA	0.00				
	2	K TRABAJO	69,895.72				
B	ACTIVOS FIJOS		131,000.00				
	1	Terrenos	50,000.00				

	2	Chiqueros	15,000.00				
	3	Vientres	60,000.00				
	4	Sementales	6,000.00				
C	ACTIVOS DIFERIDOS		0.00	E	CAPITAL CONTABLE		200,895.72
			0.00		1	Aportacion de los socios	100,895.72
			0.00		2	Subsidio	100,000.00
TOTAL DE ACTIVOS			200,895.72		PASIVO + CAPITAL CONTABLE		200,895.72

Anexo 5

[illegible]

[illegible]

[illegible][illegible]

ESTADO DE RESULTADOS PROFORMA (\$)											
CONCEPTO	ACTUAL	Años									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos Totales	00	155,627	149,831	149,705	137,609	120,347					
Egresos totales	00	89,018	85,460	77,076	70,778	62,358					
Utilidad de operación	00	66,609	64,372	72,629	66,832	57,989					
Impuestos Sobre la Renta	00	00	00	00	00	00					
Reparto de utilidades a Trab.		6,661	6,437	7,263	6,683	5,799					
Utilidad Neta	00	59,948	57,934	65,366	60,149	52,190					
Depreciaciones y amortizaciones		2,203	2,203	2,203	2,203	2,203					
Pago del credito		00	00	00	00	00					
Recuperación de aportación del Promusag (100000)		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000					
Flujo neto de efectivo	00	42,151	40,137	47,569	42,351	34,393					

[illegible]

RELACION BENEFICIO - COSTO							
			Tasa mínima de rendimiento aceptable =			12.0 %	
AÑO	Ingresos Totales	Factor de Actualización	Valor Actualizado	Egresos Totales	Factor de Actualización	Valor Actualizado	Beneficio Costo
0	00	1.000	00	96,000	1.000	96,000	0.00
1	225,523	0.893	201,360	89,018	0.893	79,481	2.53
2	149,831	0.797	119,445	85,460	0.797	68,128	1.75
3	155,627	0.712	110,772	89,018	0.712	63,362	1.75
4	149,831	0.636	95,221	85,460	0.636	54,311	1.75
5	251,627	0.567	142,780	89,018	0.567	50,511	2.83
	932,440		669,577	533,975		411,793	1.63