



**Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
del Instituto Politécnico Nacional**

Unidad Zacatenco

**Doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico
para la Sociedad**

Propuesta de Investigación:

**Efectos socio-ambientales de la incorporación de
biodigestores en el sector agropecuario de México: estudio de
caso en Guanajuato y Yucatán.**

Estudiante:

M. en C. Liliana Pampillón González

México, DF.

Enero 2012

COMITÉ TUTORIAL

Directores

Dr. Octavio Paredes López
Doctor emérito del departamento de biotecnología
CINVESTAV-Unidad Irapuato

Dr. Gerardo Hernández
Profesor Investigador titular 3A Sección de Metodología y
Teoría de la Ciencia
CINVESTAV-Unidad Zacatenco

Asesores

Dr. Víctor Olalde Portúgal
Profesor Investigador 3D, SNI III del departamento de
biotecnología
CINVESTAV-Unidad Irapuato

Dr. Luc Dendooven
Profesor Investigador 3D, SNI III del departamento de
biotecnología
CINVESTAV-Unidad Zacatenco

Dr. Rafael Loyola Díaz
Profesor Investigador UNAM, SNI I del Instituto de
investigaciones sociales

Asesor Invitado

MVZ. Octavio Montúfar Avilez
Gerente Regional FIRCO-SAGARPA
Dirección ejecutiva de apoyo a los agronegocios

**Efectos socio-ambientales de la incorporación de biodigestores en
el sector agropecuario de México:
estudio de caso en Guanajuato y Yucatán**

RESUMEN

La presente investigación pretende estudiar los efectos socio-ambientales de la introducción de los biodigestores en la producción porcícola, a través de un estudio diacrónico del sector agropecuario de México de dos regiones: Guanajuato y Yucatán, para su comparación. La entrevista, la observación y la recolección de datos se emplearán como instrumentos en la metodología. Será necesario definir indicadores sociales y ambientales. Asimismo, se realizará una fase experimental para caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente los subproductos (lodos) de estos sistemas para dar una alternativa para el tratamiento y aprovechamiento adecuado de éstos. Finalmente, se espera que los resultados de la investigación permitan plantear observaciones a nivel técnico enfocadas en proyectos de biodigestión que se desarrollan mediante el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a fin de promover la integración de la ciencia y la tecnología a la sociedad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los subproductos de la industria ganadera son los desechos. Cuando la producción ganadera se hace intensiva para responder a las demandas y maximizar las ganancias, surgen varios problemas, como la rápida diseminación de enfermedades y la acumulación masiva de desechos, sobre todo de excretas. Estas últimas son fuentes de contaminación de suelo, aire y agua. El uso de ellas como abono, por ejemplo, es muy limitado, pues la tasa de descomposición es muy lenta comparada con su producción; además de otros problemas asociados, como la falta de control de su calidad e higiene.

Desde hace unos años, se han propuesto diferentes tecnologías para el tratamiento de las excretas, y una de ellas, considerada como la más viable, fue el uso de biodigestores. Estos son sistemas de degradación biológica,

rápida y controlada, de modo que como resultado de la actividad bacteriana se producen y capturan gases que pueden ser usados como combustible.

La introducción de nuevas tecnologías se realiza con fines específicos. En el caso de los biodigestores, por ejemplo, sus fines son la eliminación de fuentes de contaminación de aguas, de fuentes de infección, de gases con efecto invernadero, y, a su vez, para la producción de combustible para la producción de energía térmica o eléctrica. Sin embargo, asociadas a estas tecnologías ocurren efectos no esperados y casi siempre ignorados: nuevos productos de desecho, reestructuración de las relaciones sociales, reacomodos económicos, cambios de patrones culturales, por mencionar algunos.

En este trabajo se pretende estudiar desde diferentes ángulos, los efectos asociados a la introducción de biodigestores. A fin de acotar el objeto de estudio, nos centraremos en la producción de excretas del ganado **porcino**. La idea es comparar las condiciones socio-ambientales que prevalecían antes de la introducción de esta tecnología con las que se presentan después. De este modo, no se pretende hacer una evaluación de esta tecnología en términos absolutos, sino relativa a las condiciones que imperan en la región de estudio.

En México, los estados que concentran la mayor participación porcentual de ganado porcino son: Jalisco, Sonora, Puebla, Veracruz, Guanajuato y Yucatán. Estos dos últimos serán los estados a estudiar. Por un lado, un punto en común es que en ambos estados los sistemas de digestión anaerobia se introdujeron en el año 2008, a través del fideicomiso de riesgo compartido que promueve la SAGARPA. El número de proyectos de biodigestión instalados a la fecha en Guanajuato y Yucatán, son 8 y 42, respectivamente. Por otro lado, poseen aspectos geográficos diferentes como clima, flora, fauna, orografía, hidrografía y ubicación lo que nos permite comparar dos regiones para valorar los efectos de la tecnología en distintas circunstancias.

El tiempo de vida de estos sistemas de biodigestión va de 25 a 30 años. Bajo este escenario, después de cierto tiempo de operación, será necesario remover el contenido de los lodos dentro del bioreactor. Por lo que surgen las siguientes cuestiones: ¿Se ha programado algún uso de estos lodos? y ¿Qué efectos ha tenido esta tecnología en la sociedad?

La visita a unos sistemas de biodigestión instalados en Yucatán nos permitió observar que en algunos establos porcinos aún no cuentan con un plan para el manejo de estos lodos. Es aquí donde se enfatiza la necesidad de estudiar y caracterizar estos subproductos, a través de técnicas fisicoquímicas y microbiológicas para dar posibles alternativas de solución a los productores.

Se pretende generar información útil por parte de la academia hacia el sector agropecuario (productores y secretarías) enfocada en proyectos de biodigestores que se desarrollen a través de FIRCO y SAGARPA, para dar seguimiento al correcto funcionamiento de estos sistemas; permitiendo que su función como una tecnología ambiental sea “integral” aprovechando los subproductos tanto lodos como biogás de una manera adecuada.

JUSTIFICACIÓN Y USO DE LOS RESULTADOS

Actualmente existen diferentes tecnologías para atender a las problemáticas del país que tienen relación con el sector energético y contaminación ambiental. Las más aceptadas contemplan el uso de sistemas fotovoltaicos, aerogeneradores, calentadores solares, biodigestores, entre otros.

Hemos decidido enfocarnos a la tecnología de biodigestión anaerobia puesto que es atractiva económicamente. Un ejemplo de esto, es el sistema de biodigestión instalado en la granja “La Pilarcita” en Yucatán. El costo del proyecto (construcción del sistema de biodigestión) fue de 1 millón doscientos mil pesos y del motogenerador 250 mil pesos (aproximadamente). La población animal atendida es de 8 500 cerdos. La producción generada diariamente de biogás es de 1 500 m³, lo que permite producir 120 kWh de electricidad. El 50% de esta energía es suficiente para abastecer a la granja. Además, genera 15

bonos de carbono al día, los cuales pueden ser vendidos en el mercado de carbono a otros países (15 euros por bono).

Una justificación más en la realización de este estudio está centrado en estudiar y entender los efectos de la implementación de esta tecnología en diferentes contextos socio-ambientales durante un tiempo definido.

Nos hemos restringido a los años 2004-2012, puesto que la motivación para la instalación de estos sistemas de biodigestión se dio a partir de la reforma a la ley de aguas nacionales y fue hasta el año 2008 cuando se instalaron los primeros biodigestores mediante FIRCO. En ambos casos, consideramos 4 años antes de su instalación y 4 años de operación. Se trata de un estudio de caso es decir, estudios puntuales que permiten particularizar situaciones o hechos para ilustrar algunos mecanismos, que a nuestro juicio actúan como factores determinantes en la incorporación de esta tecnología.

La hipótesis central plantea lo siguiente: “Si los efectos socio-ambientales de la introducción de biodigestores son independientes de las condiciones que prevalecen en la región entonces, se puede proyectar el uso de ésta a otras regiones”. Dicho planteamiento nos conduce a dos consideraciones:

- ¿Cuáles son los cambios en la estructura socio-ambiental que se le atribuyen a estos sistemas porcícolas a partir de la implementación de biodigestores en el 2008? y;
- ¿Los sistemas ya instalados han previsto qué hacer con los subproductos (lodos) después de cierto tiempo de operación de los mismos?

La investigación tiene relevancia en las prioridades del país, en cuanto al aprovechamiento de las energías renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad. Los datos serán de gran utilidad a la sociedad en general, en cuanto a la difusión del impacto esta tecnología.

Por otro lado, es imperativo lograr la sinergia entre agentes académicos y secretarías. Un ladrillo para poder edificar este puente, será la contribución de los conocimientos científicos de la academia en la fase experimental hacia el sector agropecuario, integrado por productores y secretarías, a fin de ser un ejemplo para que los proyectos tecnológicos tengan una visión más transdisciplinaria.

FUNDAMENTO TEÓRICO

De acuerdo a las cifras reportadas por la International Energy Agency (AEI, 2006), México ocupa el lugar 12° en las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles a nivel mundial, con un total de 416.26 millones de toneladas de CO₂ ó el 1.5% de las emisiones globales. Los resultados del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI 1990-2006) muestran un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de aproximadamente 40% durante ese período. La tabla 1 nos muestra las emisiones de GEI por categoría en unidades de CO₂e durante los años 1990-2006.

Tabla 1. Emisiones de GEI por categoría (1990-2006)

Categoría del IPCC	1990	1996	2002	2006	Aumento
Energía	311.195	346.922	392.674	430.097	38.2%
Procesos industriales	34.687	45.152	52.227	63.526	83.1%
Agricultura	47.427	44.077	46.146	45.552	-4.0%
USCUSS (Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura)	80.587	84.574	84.889	70.203	-12.9%
Desechos	33.387	60.026	76.217	99.627	198%
Total (Mt CO₂ eq)	507.283	580.751	652.153	709.005	39.8%

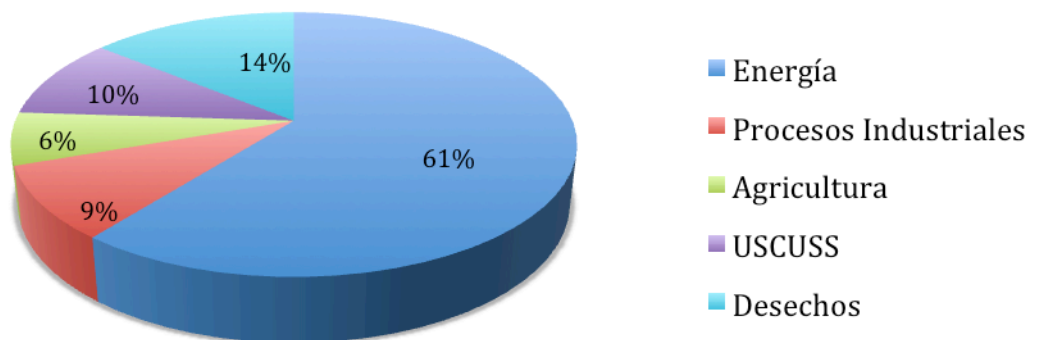
Fuente: INEGEI 1990-2006

Se consideran el CO₂e (Dióxido de carbono equivalente) puesto que es una cantidad que describe la concentración que causaría el mismo potencial de calentamiento global como la dadas por los tipos y concentración de los gases

de efecto invernadero. Tomando en cuenta las categorías establecidas en la tabla 1, la producción total de CO₂e alcanzó las 709.005 Mt y sigue en aumento.

Analizando los datos, el sector energía es el principal contribuyente de CO₂e con un 61% seguido de los desechos (ver Gráfico 1). El 6% lo representa la categoría de agricultura, la cual está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de actividades agrícolas (cultivos y manejo de suelos) y pecuarias (fermentación entérica y manejo de estiércol). Sus principales gases son CH₄ derivado de la fermentación, manejo de estiércol y cultivo de arroz; y por otro lado el, N₂O resultante de suelos agrícolas y quemas programadas. Hacemos énfasis en este rubro puesto que los desechos agrícolas son de importancia en esta investigación.

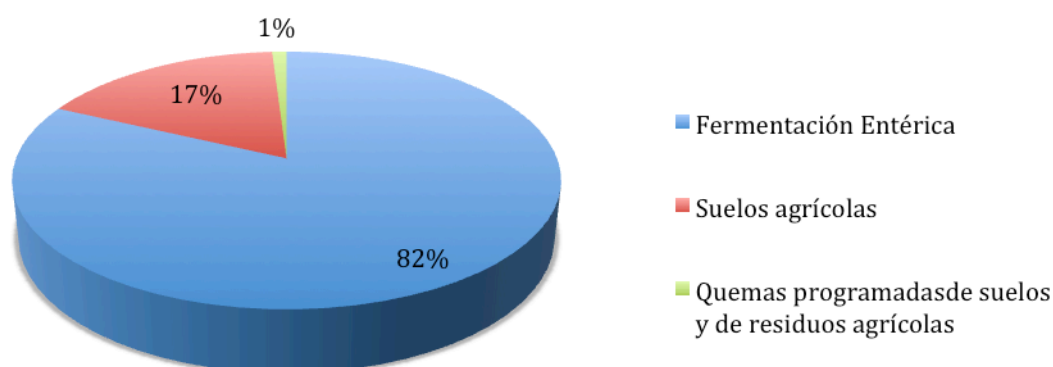
Gráfico 1. Porcentaje de emisiones de GEI en el 2006.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2006

Dentro de este sector agrícola (ver Gráfico 2) la subcategoría que más contribuyó a las emisiones en CO₂e fue la fermentación entérica, seguida por los suelos agrícolas y quemas programadas de suelos y de residuos agrícolas.

Gráfico 2. Emisiones del Sector Agrícola por Subcategoría, 2006



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2006

Asimismo, de acuerdo a los datos del inventario del 2008, las emisiones de metano del sector porcícola son de 124, 903,899 ton de Co₂e/año.

Los datos anteriores nos refleja el impacto en la generación de gases de efecto invernadero por parte del sector agropecuario, específicamente de CH₄ y detona la necesidad de implementar sistemas de biodigestión en nuestro país.

Biodigestores en el sector agropecuario de México

En el sector agropecuario de México, existen una gran cantidad de unidades productivas, en este caso en particular, hacemos referencia a las granjas de cerdos, los cuales generan diariamente desechos orgánicos.

Los biodigestores en este rubro representan una obra ingenieril que permite tratar mediante un proceso biológico, los desechos de las granjas de cerdos y/o establos lecheros. En el mercado actual, existen diversos tipos de biodigestores: circulares, rectangulares, tipo planta, biobolsa, trapezoidal, por mencionar los más representativos. El diseño de este difiere por el tipo de desecho a tratar, el volumen y el espacio disponible.

Para el caso de las granjas porcícolas se requiere de un biodigestor tipo trapezoidal con una laguna de oxidación y de un área total de aproximadamente 3 500 m². El diseño de este es como se muestra en la figura:

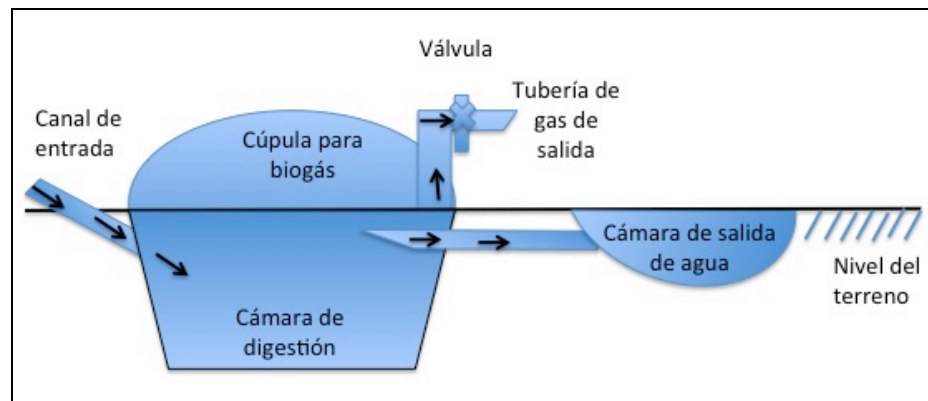


Figura 1. Biodigestor trapezoidal con laguna de oxidación

Dentro de un biodigestor se lleva a cabo el proceso biológico conocido como **digestión anaerobia**. Durante el desarrollo de este, la materia orgánica en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.) y en una mezcla de productos minerales (N,P,K,Ca, etc.) llamado digestato, además de otros compuestos.

La escasez de fuentes de energía económicamente accesibles al uso doméstico y el elevado precio de los fertilizantes químicos necesarios para el sostenimiento de la tierra cultivo han hecho que la tecnología de biodigestión sea aceptada como una alternativa de solución al problema de la contaminación en zonas rurales.

Una de las ventajas de instalar estos sistemas es el cumplimiento con la ley de agua nacionales en cuanto a descargas residuales y manejo de desechos sólidos y asimismo como ya se había comentado la producción de energía renovable.

Otro beneficio, está relacionado con el compromiso que México firmó con el protocolo de Kioto. En dicho documento se compromete a reducir sus emisiones de CO₂ y esto lo acredita mediante la obtención de certificado de reducción de emisiones (CER's) que otorgan empresas grandes por emplear este tipo de tecnología; además actualmente se está promoviendo la comercialización de bonos de carbono en las granjas donde se cuenta con esta tecnología.

Biogás

El biogás es el producto de la descomposición de la materia orgánica. Su valor como energético radica en su alto porcentaje de metano (CH₄), entre 50-70% (Castro y col., 2009). Esto le otorga un valor calorífico de 5000 Kcal/m³, el cual es susceptible de ser utilizado para la cocción de alimentos, iluminación de viviendas, calefacción de hogares, así como la alimentación para motores de combustión interna, generadores, turbinas o calderas.

En otras palabras, el biogás producido por el sistema de biodigestión es comparable con el gas natural y puede ser empleado para la producción de energía eléctrica. Para lo anterior, se requiere de un equipo motogenerador el cual permite generar ésta de una manera económicamente rentable.

Además, se considera que genera de 2-4 veces más fuentes de empleo por unidad de energía que los combustibles fósiles y propicia en mayor medida la transferencia de recursos económicos desde las áreas urbanas a las rurales productoras de estos bioenergéticos (Maserá y col., 2006).

La energía producida a través de éste puede sustituir a la convencional proveída por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Por lo que si se realiza un trámite de interconexión a la red, el productor porcícola podría generar su propia energía para abastecimiento de su granja y/o porteo. El gas excedente puede ser quemado en un mechero. Una particularidad del biogás es que no produce hollín, ni olores desagradables.

Para que un biocombustible sea una alternativa viable debe dar una ganancia energética y beneficio ambientales; además debe ser económicamente competitivo y se debe producir en grandes cantidades, por supuesto sin reducir el suministro de alimentos (Hill y col., 2006). El biogás obtenido por este tipo de desechos entonces, es viable.

Lodos residuales

Un subproducto del biodigestor además del biogás son los lodos residuales. Hasta hace poco se difundía el uso de éstos como abonos orgánicos y/o biofertilizantes, puesto que, al ser productos de la digestión se consideraban como mejoradores de suelo debido a su composición mineral y orgánica. No obstante, es importante analizar las características de éstos lodos. En algunas granjas porcícolas la dieta de los cerdos incluye fibra, lo que implica que el influente pueda tapar la tubería e inhibir el correcto funcionamiento del sistema. La cuestión es: ¿Estos lodos dependen de la alimentación de los cerdos?, ¿Qué efectos tendrían en la adición directa los suelos agrícolas? y ¿Qué técnicas existen para su tratamiento?

Situación actual de los biodigestores

La SAGARPA a través de FIRCO en coordinación con la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en Estados Unidos, emprendió un proyecto que lleva como nombre “Identificación de biodigestores en el sector agropecuario en México”. Dicho proyecto comprende poder identificar el número de biodigestores en nuestro país, considerando la revisión de diversos documentos, los cuales contemplan diversos proyectos relacionados con la reducción de emisiones en el sector agropecuario de México (Project design document, PDD) en la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC), proyectos apoyados por Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y proyectos que se han realizado en México bajo la iniciativa Metano a Mercados. Los resultados preliminares nos muestran lo siguiente:

Tabla 2. Número de Biodigestores Instalados en México

Proyectos de Biodigestión Documentados				
México	Tipo de apoyo para el biodigestor			Total de sistemas
	PDD	FIRCO	M2M	
TOTAL	563	154	4	721

Fuente: Datos por publicar SAGARPA

Como puede observarse, en México existen 721 biodigestores; no es una cantidad suficiente para la población porcícola la cual se encuentra en un rango de 14.5 a 15.5 millones de cabezas a nivel nacional (SIAP, 2008). Dicha población está distribuida en granjas formales o predios traspatios, representando 55% y 45%, respectivamente (SAGARPA, 2009). No obstante, los sistemas de biodigestión instalados sólo se han aplicados a granjas formales en un 8% por lo que más del 90% no cuentan con esta tecnología. Es entonces que nos surge el siguiente cuestionamiento: ¿a dónde va todo el estiércol que se produce en los establos porcícolas?

Si bien en nuestro país existen un sinnúmero de unidades productivas con potencialidad de aprovechar residuos orgánicos para la generación de biogás, las dedicadas a la producción de cerdos y leche son las que cuentan con mayor potencialidad de dicho aprovechamiento.

El estado de Guanajuato y Yucatán

Guanajuato y Yucatán son estados que destacan por su producción porcícola. Tan sólo la producción de estos dos constituye el 12% de la producción nacional. El número de cabeza de cerdos para el estado de Guanajuato y Yucatán en el 2008, fue de 987,938 y 898,729, respectivamente (SIAP, 2009).

Como vemos existe un gran potencial y oportunidades para el desarrollo de biocombustibles de segunda generación como lo es el biogás, en este caso a partir de los desechos de la industria porcícola.

FIRCO ha instalado en estos estados sistemas de biodigestión, en donde se ha dado solución a una problemática. Sin embargo, el seguimiento no ha sido integral, puesto que de los subproductos generados por el sistema no se aprovechan del todo; se obtiene el biogás, pero respecto al biodigestato aún no hay un aprovechamiento definido.

Los estudios respecto al manejo de excretas y de caso de granjas en otras regiones se han realizado a través de la FAO en el 2007, en donde se analizaba la problemática de la porcicultura en México (Mariscal, 2007). Sin embargo, aún no se contemplaba el estudio de un sistema de biodigestión instalado en México, su operación y beneficio en particular. Lo mismo para otros estudios reportados en 1999 sobre la porcicultura intensiva y medio ambiente en México (Pérez y col., 1999), en el cual enfatiza el impacto negativo de estos desechos hacia el medio ambiente. Un estudio más, se realizó en los estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco para determinar el potencial de contaminación sobre cuerpos de agua de granjas porcícolas en la región. Otra investigación acentúa el uso de biodigestores como una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación (Salazar, 1993). También se ha reportado las experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México investigación realizada en 1994 por la UAM. (Noyola y col., 1994). Como vemos estos estudios son anteriores a la implementación de los sistemas de biodigestión. No consideran todavía la tecnología de digestión anaerobia, porque es relativamente nueva.

Por otro lado, se han realizado estudios sobre la estimación del recurso y prospectiva tecnológica de la biomasa como energético renovable en México (Maserá y col., 2005). Empero, los hallazgos en esta investigación fue proponer como tecnologías disponibles para la biomasa: las calderas de combustibles, gasificadores, hornos de pirólisis, plantaciones energéticas y plantas de

biodiesel. La mayoría de éstas se inclina a la utilización de técnicas fisicoquímicas, dejando de lado tratamientos biológicos como la digestión anaerobia. Se ha propuesto el uso de biodigestores como mercado para comercializar bonos de carbono en los agronegocios (Castillo, 2007) y para el 2012 la SAGARPA-FIRCO publicará un diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México en cuyo documento el principal objetivo será la identificación de los sistemas instalados en el país

Es necesario mencionar que la información revisada hasta ahora respecto a biodigestores en México, se refieren al diseño del reactor (Escalante, 2002), a la identificación de microorganismos que intervienen en la generación de biogás (Laines y col., 2011; Olalde y col., 2009) a la estimación de biogás para diferentes sustratos (Frías., 2009).

No obstante, estas investigaciones realizadas en México, nos dan la argumentación necesaria para realizar un **estudio diacrónico** sobre esta tecnología en regiones importantes en México. Como ya se explicó, la tecnología es aún reciente, y los resultados respecto al beneficio socio-ambiental de ésta en un escenario del tiempo aún no son concluyentes. Asimismo, es necesario, estudiar los subproductos de estos sistemas; la aplicación de estos subproductos puede ser diversa dependiendo de sus características.

Respecto a los subproductos, una investigación realizada por la Universidad de Guanajuato nos habla sobre la evaluación del efluente de un biodigestor empleado como mejorador de suelos en el crecimiento de plantas (Cervantes y col., 2011). Otro estudio acerca de la producción de vermicomposta de excretas de cerdo fue realizado en México ante el manejo inadecuado de estos desechos (Barrera y col., 2001). Asimismo, la producción de biofertilizante mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo (Soria y col., 2001) también fue reportada. Estas investigaciones tienen en común que utilizan los subproductos generados en un bioreactor elaborado en un laboratorio. Como vemos, el campo está abierto a la investigación para analizar estudios en sistemas operación.

Un estudio de factibilidad para la puesta en marcha de biodigestores en las cuencas de las delicias en Chihuahua, contempla lo redituable que es la instalación, pero sólo considera el aspecto económico, dejando de lado la parte social y ambiental (Casas y col., 2009).

Es importante mencionar que la búsqueda de información respecto a biodigestores a nivel internacional es necesaria puesto que permite comparar la tecnología de estos sistemas instalados en otras partes del mundo. Un bioenergético como el biogás es considerado rentable desde años atrás en otros países, como China en 1990 en un programa difusión e innovación de plantas de biogás (Daxiong y col., 1990); en Tanzania mediante granjas (Godfrey, 2008); en Uganda se han analizado factores críticos e implicaciones políticas (Walekhwa y col., 2009); y en contraste otros países como Ecuador (Cornejo y col., 2010) y Ghana (Arthur y col., 2011) se está analizando su potencial como fuente de energía.

Ahora bien respecto al estudio sobre el estatus de proyectos realizados bajo el esquema de mecanismo de desarrollo limpio en biodigestores, señalan que en México el futuro es incierto puesto que no existe una regulación adecuada, además de dificultades técnicas (Lokey, 2009). Otro estudio explica el surgimiento de una pandemia de cerdos en México debido al “avance tecnológico” de confinar a los animales en establos no como antes se hacía (en pasturas), lo que tendrá impactos negativos, sin ningún modelo de producción regulado en cuanto a restricción en tamaño, alimentación, antibióticos, etc. (Ponette y col., 2010). Lo cierto es que estos estudios fueron realizados por instituciones de otros países, quienes muestran gran interés en analizar este tipo de problemáticas.

Por último, es importante mencionar algunas investigaciones relevantes en cuanto el estudio del biodigestato en donde se han considerado parámetros fisicoquímicos que afectan la estabilidad del bioreactor (Trzcinski, 2011); se comparan las propiedades con respecto a la composta (Tambone y col., 2010); se ha estudiado la producción de metano del biodigestato tomando en cuenta

los tiempos de retención y el influente del sistema (Menardo y col., 2011); también se ha reportado la supervivencia de los patógenos en el estiércol de los cerdos en el medio ambiente y la transmisión de las enfermedades entéricas a los humanos (Guan, 2003); un caso en Brasil, sobre la generación de biogás y biofertilizante a partir de diversas tecnologías: biodigestor y biodiesel (Sonia y col., 2011); en Costa Rica, sobre el potencial energético de biodigestores de bajo costo (Botero y col., 2008); los efectos que los antibióticos suministrados en los cerdos puede causar en la producción de biogás son estudiados en Italia (Lallai y col., 2002); y finalmente, sobre el tratamiento del biodigestato vale la pena mencionar un método basado en electrocoagulación usando electrodos de acero (Kumar y col., 2009).

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

GENERAL: Estudiar los efectos socio-ambientales asociados a la introducción de la tecnología de digestión anaerobia en el sector agropecuario en dos regiones: Guanajuato y Yucatán para el periodo 2004-2012.

ESPECÍFICOS

- Definir los indicadores socio-ambientales a considerar.
- Sistematizar el estudio sobre la percepción de los efectos socio-ambientales derivados de la adopción de los sistemas de biodigestión.
- Determinar los efectos socio-ambientales y problemáticas existentes.
- Estudiar y caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente los lodos (subproducto) de los sistemas elegidos.
- Plantear observaciones a nivel técnico enfocadas en proyectos de biodigestores que se desarrollan mediante FIRCO-SAGARPA.

METODOLOGÍA Y PLAN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La metodología prevista y logística para desarrollarla contempla:

- 1.-La revisión documental de las fuentes de información en la web, artículos, revistas científicas, así como también la base de datos proveída por FIRCO.
2. La determinación de las unidades productivas de ganado porcino que cuentan con sistemas de biodigestión instalados por FIRCO para el estudio.
3. La definición de los indicadores socio-ambientales a evaluar a considerar en la adopción de esta tecnología. Ejemplo de estos podrían ser:

Los efectos sociales de estas innovaciones tecnológicas analizadas a nivel de un conjunto seleccionado de indicadores relacionados con empleo, salud, bienestar, condiciones de vida, etc.

Los efectos ambientales y ecológicos, se determinarán en parámetros tales como suelo, agua, aire y biodiversidad.

Se prevé establecer más de un indicador puesto que un solo indicador no refleja el impacto de un proceso en sí (Robles, 1999).

4. Determinar el tamaño de la muestra de estudio. El número de casos tipo para cada una de las regiones a estudiar, el número de informantes claves (personajes o actores en relación a la tecnología) a entrevistar. Sobretudo justificar la elección de éste mediante el estudio previo de la región (población, distribución, etc.)

La muestra de estudio debe ser homogénea desde el punto de vista social y cerrada es decir que durante el periodo de estudio no haya ingresado individuos con una historia diferente a la del grupo social en cuestión.

5. Elaboración de un cuestionario base que contemple la percepción de los productores e informantes calificados (posibles informantes claves).

6. La visita a los sistemas de biodigestión instalados en los estados de Guanajuato y Yucatán, para la observación de dichos sistemas y la aplicación de entrevista a los productores porcícolas y a los informantes claves.

7. Sistematización de las percepciones, visiones u opiniones de dos grupos diferentes de agentes: productores porcícolas e informantes claves.

8. Análisis de la información y descripción del efecto socio-ambiental en el periodo 2004-2012.

Se estimaran en términos relativos a las condiciones que imperan en la región de estudio los efectos sociales-ambientales de esta innovación tecnológica.

9. El muestreo de los lodos residuales de sistemas de biodigestión antes de entrar al bioreactor (influyente) y después de proceso (efluente) para su estudio y caracterización en el laboratorio (la fase experimental se contempla realizarla en el laboratorio del Dr. Luc Dendooven del CINVESTAV-Zacatenco).

10. Analizar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como pH, CE, Ssed, DQO, DBO, UFC Coliformes, temperatura, N, P, K, Ca, Fe, Mg, Cu, Zn.

Parámetros a evaluar y métodos a utilizar

Parámetro	Medio utilizado
pH	Potenciómetro, Lectura directa
Conductividad Eléctrica	Conductímetro, Lectura directa
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Winkler modificado (CNA, 1996)
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo abierto (CNA, 1996)
Sólidos sedimentables	Volumétrico (CNA, 1996)
Colonias coliformes	Recuento en placa y siembra por dilución en medio Agar de Eosina con Azul de Metileno (Tchobanoglus y col., 1985).

Temperatura	Lectura interna con termómetro de reloj
Nitrógeno total	Kjeldahl (Bremner, 1965)
Fósforo Total	Digestión ácida y lecturas con espectrometría de ultravioleta visible (AOAC, 1995)
Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Zinc (totales)	Digestión ácida, por espectrofotometría de absorción atómica (AOAC, 1995).

12. Analizar los parámetros medidos para identificar los cambios del lodo influente con el efluente.

13. En base a las características plantear un mejor aprovechamiento de este como biofertilizante o bioabono en base a un tratamiento adecuado.

14. Realizar un informe final (tesis) de toda la información estudiada y experimentada.

15. Difundir el impacto de la implementación de la tecnología de digestión anaerobia en el sector agropecuario.

APOYOS

MVZ. Octavio Montúfar Avilez, gerente regional en la dirección ejecutiva de apoyo a los agronegocios y el Ing. Miguel Torres Bernal, gerente estatal de FIRCO han aceptado brindar apoyo en las actividades necesarias como permisos para visitar a los sistemas de biodigestión instalados por FIRCO; asimismo brindar información necesaria como capacitaciones y cursos para llevar a cabo la presente investigación.

Dr. Luc Deendoven en las facilidades para poder realizar la parte experimental en su laboratorio de biotecnología en el CINVESTAV-Zacatenco.

En casos excepcionales, se podrá recurrir a los laboratorios de biotecnología del CINVESTAV unidad Irapuato.

LITERATURA CONSULTADA

Albornoz, Mario. 2009. Indicadores de Innovación: las dificultades de un concepto en evolución. Revista CTS, no.13, vol. 5, pp.9-25.

AOAC. 1995. Official Methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. 13^a.ed. Washington. DC.

Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario. Elaborado por SAGARPA-FIRCO. Mayo 2007.

Arthur R., 2011. Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study. Renewable Energy (36) 1510-1516.

Atuesta Venegas, M.R., 2005. Valorización de impactos tecnológicos en el desarrollo social de comunidades rurales. Revista Universidad EAFIT. Abril-junio, año/vol. 41, número 138. IAA: 0120-341X. Colombia.

Barrera C, G., 2001. Vermicomposta de excretas de cerdo: Opción sustentable para la porcicultura. Folleto de divulgación del INIFAP.

Botero, R., 2008. Waste Treatment and biogás quality in small-scale agricultural digester. Bioresourcer Technology (99) 5881-5890.

Bremner, J.M. 1965. Total Nitrogen. Pp.1149-1178 Int: C.Black (ed.) Methods of soils analysis (Part 2). American Society of Agronomy. Madison, WI.

Cambio climático, informe SEMARNAT
<http://www.semarnat.goib.mx/queesemarnat/cambioclimatico/pages/mdl.aspx>

Casas Prieto, M. A., et. al., 2009. Estudio de Factibilidad para la puesta en marcha de los biodigestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de delicias, Chihuahua. Revista Mexicana de Agronegocios, enero-junio, año/vol. XIII, número 024. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria.

Castillo, Ignacio. 2007. Gerente General AgCert. "El Mercado de Bonos de Carbono y los Agronegocios", Proyectos MDL Agropecuarios. México.

Castro Claudia, Valverde María, Paredes Octavio. Biocombustibles: biomasa lignocelulósica y procesos de producción. Ide@as concyteg. Año 4 núm 54, 2 de diciembre de 2009. Pag 1246-1270.

Cervantes, R. L., Aguilar G., 2011. Evaluación de un efluente de biodigestor anaerobio empleado como mejorador de suelos en el crecimiento de plantas. Verano de la Investigación Científica.

CNA, Comisión Nacional del Agua. 1996. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Metodologías para Análisis de aguas. Cuernavaca, Morelos, Méx.

Cornejo, Camilo, et al., 2010. Greenhouse gas emissions and biogás potential from livestock in Ecuador. Energy for Sustainable Development (14) 256-266.

Daxiong Q., et al., 1990. Diffusion and Innovation in the Chinese Biogas Program. World development. Vol 18, No.4 pp 555-563.

Escalante Estrada, V. 2002. Tratamiento de efluentes de una granja porcícola en el estado de Campeche. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Instituto de procedentica IMTA Y UAC

Especificaciones Técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México. Memorias SAGARPA-FIRCO. Enero 2010.

Framework Convention on Climate Change
<http://unifcc.int/resource/docs/natc/maxnc4s.pdf>

Frías-Hernández Juan T. Potencial y oportunidades de desarrollo de biocombustibles a partir de materiales no alimenticios en Guanajuato. Ide@as concyteg. Año 4 núm 54, 2 de diciembre de 2009. Pág 1271—1286.

García, Rolando., et al., 1988. Modernización en el agro: ¿Ventajas comparativas para quién? El caso de los cultivos comerciales en el Bajío. IFIAS; UNRISD; CINVESTAV.

García Rolando., et al., 1988. Deterioro ambiental y pobreza en la abundancia productiva. El caso de la comarca Lagunera. IFIAS; CINVESTAV.

Godfrey Agnes. 2007. Dairy farming and biogás use in Rungmw district, South-west Tanzania: A study of opportunities and constraints. Renewable and Sutable Energy Reviews 12, pp. 2240-2252.

Guan T.Y. et al., 2003. Pathogen survival in swine manure environmental and transmission human enteric illness. Journal of Environmental Quality. May-June 32 (3):1153.

Hill, J., Nelson, E. Tilman, D., Polasky, S. & Tiffany, D. 2006. "Environmental economic and energetic cost and benefits of biodiesel and etanol biofuels". Proc. Natl Acad Sci, 103, 1206-11210.

Identificación de biodigestores en el sector agropecuario en México. Proyecto por publicar. Elaborado por FIRCO-SAGARPA-EPA.

INEGI 2008. Censo agropecuario. <http://www.inegi.org.mx>

International Energy Agency (AIE) 2006. <http://www.iea.org/stats/index.asp>

Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006 (INEGEI) http://www2.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/inegei_res_ejecutivo.pdf

Jaime P. A., et al., 2006. Métodos de evaluación de externalidades ambientales provocadas por obras de ingeniería. Ingeniería, Investigación y Tecnología VII 2. 105-119.

Kumar, M., 2009. Treatment of biodigester effluent by electrocoagulation using iron electrodes. Journal of Hazardous Materials (165) 345-352.

Laines Canepa, J.R., et al., 2011. Microorganismos que intervienen en la generación de biogás. Hacia la Sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. Pp. 640-644.

Lallai, A., et al., 2002. The effects of certain antibiotics on biogas production in the anaerobic digestion of pig waste slurry. *Bioresource Technology* (82) 205-208.

Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 28 de Noviembre de 2008.

Lockey Elizabeth. 2009. The status and future of methane destruction projects in Mexico. *Renewable Energy* (34) 566-569.

Manual de Autoenseñanzas programadas: Introducción a la tecnología de la digestión anaerobia. Elaborado por FIRCO para capacitación de los técnicos.

Manual de mejores prácticas para la implementación del sistemas de biodigestión en el sector agropecuario. Elaborado por SAGARPA-FIRCO, EPA. Marzo 2010.

Mariscal Landín, Gerado. 2007. FAO. Tratamiento excretas de cerdos. www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s08.htm

Martínez Alfredo. Biocombustibles biotecnológicos. *Ide@as concyteg*. Año 4 núm 54, 2 de diciembre de 2009. Pag 1198-1215.

Masera y Col. 2006. La Bioenergía en México, un catalizador para el desarrollo sustentable, México: Red Mexicana de Bioenergía-CONAFOR Editado por Mundi-empresa.

Menardo, S., 2011. The methane yield of digestate: Effect of organic loading rate, hydraulic retention time, and plant feeding. *Bioresource Technology* (102) 2348-2351.

Metodología de evaluación de Impacto de la innovación en el sector agroalimentario. Workshop: Red Iberoamericana de indicadores de innovación e impacto de la ciencia y la tecnología en el sector agroalimentario. Santiago de Chile, 28, 29 y 30 de noviembre 2007.

Noyola, A., Monroy O. 1994. Experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. Pp. 331-340. Taller y Seminario Lationamericano: Tratamiento anaeróbico de aguas residuales. Montevideo, Uruguay.

Olalde Víctor y Valverde María,. Rutas, procesos y microorganismos implicados en la producción de biocombustibles. *Ide@as concyteg*. Año 4 núm 54, 2 de diciembre de 2009. Pág 1216-1233

Pérez, R. 1999. Porcicultura Intensiva y Medio ambiente en México. *Revista mundial de Zootecnia*. FAO corporate document repository, Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM.

Ponette-González, A., et al., 2010. Pig pandemic: Industrial hog farming in eastern México. *Land Use Policy* (27) 1107-1110.

Porcicultura: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio.htm>

Salazar G., 1993. Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INIFAP-CIPAC. Campo experimental en el centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.

Programa sectorial de desarrollo agropecuario y Pesquero 2007-2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA. Pag.3

Protocolo de Kyoto

http://cambio_climatico.ine.gob.mx/preguntasfrecuentes/protocolodekiotoymdosdebonos.html United Nations.

Robles Teresa; Luna Rafael., 1999. Elaboración de indicadores. PROAFCA/CAPAS. Octubre.

Servicio de información agroalimentaria y pesquera; <http://www.siap.gob.mx>

Sonia V.W., et al., 2011. Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. *Biomass and bioenergy* (35) 2608-2618.

Soria Fregoso, M. J., et al., 2001. Producción de Fertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, octubre-diciembre, año/vol. 19, número 004.

Tambone, F., et al., 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere* (81) 577-583.

Trzcinski, A., et al., 2011. Parameter affecting the stability of the digestate from a two-stage anaerobic process treating the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management* (31) 1480-1487.

Walekhwa, Peter., et al., 2009. Biogas energy from family-sized digester in Uganda: Critical factors and policy implications. *Energy Policy* (37) 2752-2762.

Whitman, W.B. 1989. "Methanomonocales". En J.T. Staley, M.P. Bryant, & N. Pfennig. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Vol 3. Williams & Wilkins Baltimore pp. 2185-2190.

Tchobanoglus, G y E.D. Schoeder. 1985. *Water quality: Characteristics, modeling and modification*. Addison-Wesley. Reading, M.A.