



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**INSTRUMENTOS DE LA POLÍTICA AMBIENTAL DE
IMPORTANCIA PARA LA PORCICULTURA MEXICANA:
FACTIBILIDAD Y ALTERNATIVAS RELEVANTES PARA SU
CUMPLIMIENTO EN EL MARCO DE LAS ESTRATEGIAS EN
MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO**

ENSAYO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN ECONOMÍA AMBIENTAL Y ECOLÓGICA

PRESENTA
ADRIANA RIVERA HUERTA

TUTOR: Ph.D. RAFAEL OLEA PÉREZ



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Gracias a mis padres y hermanos por estar siempre a mi lado.

Gracias al Dr. Rafael Olea Pérez, por su valiosa y persistente guía.

Resumen

Los sistemas intensivos de producción porcina nacional, que concentran en tan sólo seis estados más del 50% del inventario de ganado porcino y que tuvieron en nuestro país un fuerte impulso a partir de los años setenta, han generado serios problemas ambientales por la acumulación y manejo inadecuado de sus aguas residuales, lo que ha llevado a regular esta actividad principalmente en lo relativo a las descargas que efectúan a cuerpos receptores.

Es así que las granjas productoras de cerdos están obligadas a cumplir los ordenamientos en materia ambiental y específicamente con la entrada en vigor de la NOM-001-ECOL-1996 en 1997, norma que regula las descargas de aguas residuales. Esta norma tuvo una aplicación gradual de acuerdo a las condiciones particulares de descarga de las explotaciones porcinas, pero a partir de enero de 2010 todas las unidades de producción deben estar acatando sus disposiciones. Pero, debido a las características de los residuos porcinos, el cumplimiento de la normatividad ha resultado oneroso y altamente complejo para los productores.

Sin embargo, esto que para los porcicultores ha significado un problema, en la actualidad representa una oportunidad, ya que precisamente la fuerte carga de materia orgánica que contienen las excretas porcinas (principal limitante para usar exitosamente los tratamientos convencionales en aguas residuales de cerdo) le dan la propiedad de ser un excelente insumo para la generación de bioenergía con beneficios asociados de tipo económico, reducción de la extracción de recursos ambientales y por ende disminución de la degradación del entorno natural.

Este ensayo expone la situación de la porcicultura desde su dimensión ambiental y legal con el objetivo de destacar las ventajas de reconocer a la cerdaza como un subproducto, no como un desecho y así plantear alternativas para resolver el problema de la contaminación de las granjas porcinas en paralelo con las

disposiciones de la política ambiental mexicana. Por lo que se propone la hipótesis de reciclar las excretas porcinas como insumo agrícola (biofertilizante) mediante su transformación con el uso de digestores anaerobios y a la vez aprovechar la captura y combustión de metano - poderoso gas de efecto invernadero - en proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio, considerados en el Programa Especial de Cambio Climático. Esto evitará efectuar descargas de aguas residuales porcinas a la naturaleza y por ende la confrontación de la porcicultura con la política ambiental.

Asimismo, el presente trabajo enfatiza la importancia de regenerar los lazos entre los sectores pecuario y agrícola, particularmente a través de la reconceptualización de los sistemas de crianza de cerdos a sistemas agropecuarios integrados, que permitirán conservar la porcicultura nacional por su importancia histórica desde los puntos de vista alimenticio, económico y social, a la vez de que se observa la necesidad de estrechar el vínculo de los avances tecnológicos a la realidad nacional pecuaria.

Tabla de contenido

Resumen	iii
Tabla de contenido	v
Abreviaturas	1
1.Introducción	3
2.Metodología General.....	5
2.1.Hipótesis.....	5
2.2.Objetivos.....	5
2.2.1.Objetivo general.....	5
2.2.2.Objetivos específicos:	6
2.3.Procedimiento.....	6
2.3.1.Etapas del procedimiento	6
3.Marco Teórico.	8
3.1.Antecedentes de la porcicultura en México	8
3.1.1.Historia de la porcicultura	8
3.1.2.Sistemas de producción porcina.....	11
3.1.3.Datos de la producción porcícola en México	13
3.1.4.Características biológicas del cerdo y entropía en su producción ...	14
3.1.5.Impacto ambiental de la producción porcina	15
3.2.La política medioambiental en México	19
4.Disposiciones de los instrumentos de la Política Ambiental Mexicana de interés para la porcicultura.....	21
4.1.Instrumentos regulatorios	21
4.2.Instrumento que fomenta la creación de mercados.....	26
4.3.Sanciones en caso de incumplimiento a la legislación ambiental.....	29
5.Consideraciones sobre la legislación vs porcicultura	32
6.Alternativa de tratamiento de las aguas residuales porcinas	33
7.Uso de biodigestores para el tratamiento y aprovechamiento de las excretas porcinas.	34
7.1.Uso de las excretas para fertilización de suelos agrícolas	36
7.2.Compatibilidad de los residuos porcinos y los suelos.....	37
7.3.Participación de la porcicultura en la mitigación de GEI.	39
7.4.Ventajas del uso de biodigestores en la producción porcina	41
8.Factibilidad de la producción de cerdos dentro de las disposiciones legales..	42
8.1.Apoyo gubernamental para la instalación de biodigestores.....	44
8.2.Costos de instalación de un sistema para el aprovechamiento de biogás en una granja porcina	45
9.Conclusiones	47
10.Comentarios Finales.	49
Trabajos citados	51
ANEXO.....	55

Abreviaturas

Art.	Artículo
B	Boro
B/C	Relación Beneficio Costo
Ca	Calcio
CA	Conversión Alimenticia
CC	Cambio Climático
CH ₄	Metano
CNA	Comisión Nacional del Agua
Co	Cobalto
COMEGEI	Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CO ₂	Bióxido de carbono
CO ₂ ^e	Bióxido de carbono equivalente
COP16/CMP6	Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CPM	Confederación de Porcicultores Mexicano
Cu	Cobre
DOF	Diario Oficial de la Federación
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO ₅	Estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un período de 5 días
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FOMAGRO	Fomento a Agronegocios
Fomecar	Fondo Mexicano de Carbono
GAAT	Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros
GEI	Gases de efecto invernadero
Gg	Gigagramos (mil toneladas métricas)
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
K	Potasio

kg	kilogramo
kw-h	Kilowat-hora
Ktons/año	Kilotoneladas
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LFD	Ley Federal de Derechos
LFDMA	Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Nacionales
LGS	Ley General de Salud
LMP	Límites Máximos Permisibles
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
mdp	millones de pesos
mg/l	miligramo/litro
Mg	Magnesio
Mo	Molibdeno
ml/l	mililitros/litro
N	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
NOM	Norma Oficial Mexicana
NOM-001	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996
OMC	Organización Mundial de Comercio
P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrógeno
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
ppm	Partes por millón
RAE	Real Academia Española
SAGARPA	Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
S	Azufre
SS	Secretaría de Salud
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TIR	Tasa Interna de Retorno
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
Mn	Manganeso
VAN	Valor Actual Neto
Zn	Zinc

1. Introducción

El cambio climático (CC) es un problema ambiental global que representa una de las mayores amenazas para el desarrollo y el bienestar humano. Derivados de este fenómeno se esperan cambios en los regímenes de temperatura y precipitación pluvial. Además, provocará nuevos patrones de comportamiento de plagas y enfermedades que afectarán la productividad de algunos cultivos, que impactará en la productividad ganadera por escasez de granos, y en conjunto tendrá implicaciones adversas para la seguridad alimentaria (IPCC, 2007).

Es ampliamente reconocido que entre las causas del CC están las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI). Siendo el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) los de mayor importancia como emisiones del agro, ya que éstas han aumentado notablemente desde el año 1750 por efecto de la intensificación en la de producción agropecuaria.

En el incremento de los GEI hay una participación compartida de los diferentes sectores de la economía, entre los que destaca el sistema alimentario que genera en total el 22%¹ de las emisiones de GEI en México (SEMARNAT, 2009). Dentro de este sistema, la ganadería es particularmente importante al contribuir directamente con el 7% de las emisiones y el restante 15% de manera indirecta por cambios de uso de suelo y el consumo de productos agrícolas (FAO, 2008; SEMARNAT, 2009).

Efectivamente, el sector agropecuario, a la vez que es uno de los más vulnerables, también es un contribuyente importante al CC, principalmente por sus sistemas de producción intensivos, los que en México generan más del 50% de la producción

¹ En este porcentaje se incluyen a la ganadería con un 7%, la agricultura con un 1% y la deforestación con el 14% de las emisiones de GEI (la cual se debe sobre todo al cambio de uso de suelo para la agricultura y el pastoreo) que en conjunto participan en la producción de alimentos.

nacional. Sin embargo, también es uno de los sectores económicos que ofrece grandes alternativas para mitigar las emisiones de GEI, pues como se describe más adelante, los desechos orgánicos generados por esta actividad se pueden transformar en recursos energéticos. Ejemplos de lo anterior, son la industria lechera y la porcícola, que liberan importantes cantidades de metano a través de la fermentación de las excretas, gas que tiene un potencial como GEI 23 veces superior al CO₂, pero que a la vez es un combustible susceptible de ser aprovechado como sustituto de los hidrocarburos (CIE-UNAM, 2004).

De la ganadería intensiva, resulta especialmente importante la porcicultura, por disponer en forma líquida las excretas y someterlas frecuentemente a una fermentación anaerobia durante su manejo y disposición facilitando la formación de metano. Adicionalmente la población porcina en México es tres veces superior a la de bovinos productores de leche (INEGI, 2011). Por lo tanto el volumen de desechos que producen implicaría un impacto ambiental grave (Constanza & Editors, 2007).

De las externalidades negativas de un sistema, las de impacto ambiental son las que más se han regulado a través de la política ambiental nacional. Así, mediante normas y estímulos financieros, el gobierno regula la porcicultura, su operación y sus descargas ambientales.

Estas regulaciones han sido tema de discusión y debate, particularmente hacia el manejo de las excretas porcinas. Pues, tradicionalmente la cerdaza se ha dispuesto directamente en suelos y cuerpos de agua, produciendo una alta contaminación que violenta las normas de impacto ambiental, ya que la cerdaza, como otros estiércoles, representa un riesgo sanitario y de eutricación de cuerpos de agua cuando son dispuestos sin tratamiento.

Sin embargo, el manejo adecuado de las excretas porcinas en otros países no solo cumple las normas ambientales, sino que representa un recurso adicional para la agricultura. Así, la adecuación del tratamiento de la excretas de cerdos por parte de los poricultores nacionales pudiera no solamente anular la controversia existente para cumplir la ley, sino que les permitiría allegarse recursos adicionales.

En este sentido, los biodigestores, recientemente han sido considerados como la tecnología que facilita el aprovechamiento de los nutrientes presentes en la cerdaza, además de evitar fugas de contaminantes al medio ambiente.

Por ello, es importante estudiar cuales son las principales restricciones que impone la normatividad mexicana en materia de descargas pecuarias, para proponer tecnología ad hoc en el manejo y reciclamiento de los nutrientes de la cerdaza que eviten descargas. Empatando estas tecnologías con los estímulos financieros creados recientemente en el marco del CC aplicables a la situación de la porcicultura.

2. Metodología General

2.1. Hipótesis

La porcicultura nacional puede cumplir con la normatividad en materia ambiental y aproveche las políticas instrumentadas en el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), siempre y cuando recicle sus desechos.

2.2. Objetivos

2.2.1. -Objetivo general

- Revisar la situación de la porcicultura nacional ante la normatividad ambiental y discutir la factibilidad de su cumplimiento mediante el reciclaje

de sus residuales, tomando como soporte las disposiciones de la política ambiental que así lo exhortan.

2.2.2. Objetivos específicos:

- Describir la situación ambiental de la porcicultura mexicana.
- Revisar la normatividad vigente en materia de política ambiental que incide sobre la producción de cerdos.
- Analizar las oportunidades que ofrece el PECC a la porcicultura nacional para el cumplimiento de la normatividad ambiental.
- Valorar sistemas de manejo de excretas porcinas para el cumplimiento de la normatividad

2.3. Procedimiento

La metodología se encuentra en línea con el método hipotético-deductivo, base del método científico (Namakforoosh, 1996) y consiste de cuatro etapas: 1. Primera Etapa. Definición del marco teórico, 2. Segunda Etapa. Identificación de las disposiciones de leyes ambientales que intervienen en la porcicultura, 3. Tercera Etapa. Planteamiento de una alternativa tecnológica que permita a los poricultores operar bajo el cumplimiento de la ley y 4. Cuarta Etapa. Disposiciones de la política ambiental que favorecen la inversión para el aprovechamiento de residuales.

2.3.1. Etapas del procedimiento

Primera Etapa. Marco teórico, éste tiene dos componentes, los antecedentes y la revisión teórica del tema.

1. Antecedentes. Este componente se basa en literatura que aborda los eventos históricos de la porcicultura en México y el efecto de la producción porcina en el medio ambiente.
2. Revisión teórica del tema. En este punto se construye el marco legal ambiental de la porcicultura. Se hace la recopilación de los instrumentos de política ambiental que intervienen en la porcicultura, lo que permitirá establecer los alcances de los instrumentos legales y destacar la importancia de incorporar otras perspectivas en la solución de la polémica relación porcicultura-medio ambiente.

Segunda Etapa. Disposiciones legales, en esta etapa se identifican las disposiciones legales ambientales que tienen injerencia en la porcicultura y sobre las cuales se centrará el análisis.

Tercera Etapa. Tecnología disponible, se explora una tecnología que permita obtener un aprovechamiento ecológico y económico de las excretas de cerdos. Una vez identificadas las disposiciones que intervienen en la porcicultura, se plantea la utilización de los biodigestores como una opción tecnológica para evitar las externalidades negativas de esta actividad productiva y la posibilidad de obtener un beneficio económico para los productores, al canalizar como insumo tanto de sus propias explotaciones, como del sector agrícola, los productos derivados de la digestión anaerobia de la cerdaza.

Cuarta Etapa. Alternativas implícitas en la política ambiental que respaldan el reciclaje de los residuales porcinos. En esta sección se identifican las disposiciones contenidas en los instrumentos de política ambiental y programas gubernamentales que pueden actuar como facilitadores en la implementación de sistemas para la transformación de las excretas hacia su reciclaje como solución al problema ambiental de la industria porcina.

3. Marco Teórico.

3.1. Antecedentes de la porcicultura en México

3.1.1. Historia de la porcicultura

En México la producción de cerdos inicia en el siglo XVI con la llegada de los españoles que introdujeron al país cerdos ibéricos, napolitanos y célticos de Europa. Es así que la porcicultura se desarrolló en sus inicios a pequeña escala, principalmente en la zona del bajío, su producción era básicamente para consumo de la colonia española y para la obtención de manteca para la fabricación de jabones y para elaborar embutidos (Tinoco, 2004).

Pero el crecimiento de esta actividad se produjo hasta que se dieron las condiciones de infraestructura para la creación de un mercado interno y externo, lo cual se dio con la construcción de vías ferroviarias a partir de 1873, que permitió la distribución de alimento en mayor cantidad y menor tiempo, sumando a esto que a partir de 1930 existió un desplazamiento de las grasas de cerdo por los aceites vegetales, lo que reorientó la finalidad zootécnica del cerdo hacia la producción de carne (Cedillo, 2008).

Lo anterior, además de la producción de grandes extensiones de tierra de cultivo de trigo, sorgo, maíz, legumbres, arroz y oleaginosas, ocasionaron que las grandes producciones de cereales y oleaginosas fueran destinadas a la actividad pecuaria, lo que posteriormente llevó a copiar los sistemas de producción intensivos implantados en Estados Unidos. De tal forma que de 1940 a 1950 la porcicultura fue la segunda fuente de abastecimiento de carne en México al aportar cerca del 20% de la producción de carne (Pérez, 2002).

Esta actividad mostró el crecimiento más importante en su producción de 1972 a 1983, derivado del descenso de los precios relativos de la carne de cerdo, los inventarios se incrementaron en promedio por arriba del 4% anual, mientras que la producción de carne aumentó a una tasa promedio anual superior a 10%. Por lo que pasó a ser el sistema ganadero más importante del país (Tinoco, 2004).

En este período inicia la porcicultura industrializada altamente tecnificada en el noroeste del país, sobre todo en Sonora. Este sistema de producción tecnificado permitió que el consumo per cápita se elevara de 11.2 kg en 1972 a casi 21 kg en 1983, ésto debido a un mercado interno en expansión derivado de una economía de subsidio, un mercado protegido con elevados aranceles y permisos de importación, así como cambios en los hábitos de consumo de la población originados por un proceso rápido de urbanización (Cedillo, 2008).

Sin embargo, este apogeo en la porcicultura se vio afectado negativamente a raíz de la crisis de los ochenta y a los programas de ajuste gubernamentales, como la eliminación de la mayor parte de los subsidios y se dio inicio a la apertura comercial comenzando con la adhesión de México en 1986 al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros (GAAT) predecesor de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y finalmente presenta su afectación más importante con la adhesión en 1994 al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

Como resultado del TLCAN se dio el cierre del 40% de granjas con la consecuente pérdida de empleos directos e indirectos, siendo el sistema semitecnificado el principal afectado, disminuyendo de 50% al 15% y favoreciendo al estrato tecnificado e intensivo que aumentó su participación del 20% al 57% (Tinoco, 2004).

En 2009 el mercado nacional porcícola se vio afectado por el brote de influenza humana AH1N1, que generó una nueva crisis en el sector, esta enfermedad fue

conocida inicialmente como *influenza porcina* ya que se atribuyó equivocadamente el contagio al humano por contacto con el cerdo, y aún cuando posteriormente se desechó esta hipótesis, provocó la disminución del 60% en el sacrificio de cerdos en el país con respecto al mismo mes en 2008 y el precio del cerdo en pie disminuyó en 20.45% (Barreiro, 2009).

Recientemente el terremoto que afectó a Japón en marzo de 2011, generó incertidumbre entre los porcicultores, sobre todo en los productores de los estados de Sonora y Yucatán, únicos estados certificados para exportar carne a Japón las cuales son de 60 mil toneladas al año. Sin embargo, de acuerdo a información de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) luego del terremoto, las ventas en carne de cerdo mexicana a Japón se incrementaron entre 27 y 30%, principalmente de carne congelada y de productos industrializados (CPM, 2011).

En la actualidad el sector porcino mexicano sufre graves amenazas de quiebra debido a dos factores principales: 1) El incremento de los precios internacionales de maíz y sorgo y 2) el incremento en las importaciones de carne de cerdo.

A lo anterior, hay que sumar las disposiciones establecidas en los instrumentos de comando y control en materia ambiental, que con la entrada en vigor en 1997 de la NOM-001-ECOL-1996², los porcicultores se encuentran en una situación crítica ambiental y políticamente hablando, sobre todo en zonas de producción intensiva en donde hay numerosas granjas sin una base territorial suficiente para reutilizar la orina y excretas que generan y éstas deben acatar las disposiciones ambientales para evitar hacer el pago de derechos o incluso ser sancionados hasta con el cierre de sus instalaciones, lo que pone en riesgo aún más la sobrevivencia de esta actividad económica.

² NOM-001-ECOL-1996, Norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

3.1.2. Sistemas de producción porcina.

De acuerdo con la revisión realizada por Olea (2009), en México la clasificación de las granjas porcinas se ha hecho de acuerdo al nivel de tecnificación, pero los criterios que se han utilizado son subjetivos y no existe una clara asignación de las explotaciones a estos niveles. Algunos autores han utilizado como criterio para asignar el nivel de tecnificación la bioseguridad y los parámetros productivos de las granjas, sin embargo, los rangos de cada nivel estuvieron fijados arbitrariamente y no fueron reportados.

Por otro lado, la clasificación del FIRA, define tres tipos de granjas: a. tecnificadas, b. semitecnificadas y c. familiares o de traspatio, mismas que a continuación se describen brevemente.

a. Granjas tecnificadas, se caracterizan por contar con un equipamiento tecnológico alto, pueden tener una integración vertical y horizontal, tienen su propia planta de alimentos, así como un estricto control de bioseguridad y sus cerdos son sacrificados en rastros de inspección federal. Este tipo de granjas contribuyen con cerca del 50% de la producción de carne de cerdo en México.

b. Granjas semitecnificadas, estas granjas pueden llegar a tener una calidad genética de su pie de cría similar al existente en las granjas tecnificadas, pero su producción es menor y sus instalaciones y sistemas de bioseguridad no son óptimas. Utilizan alimento balanceado comercial, sacrifican a sus cerdos en rastros privados o municipales y contribuyen con el 20% de la carne de cerdo que se consume en el país.

c. Granjas familiares o de traspatio, estas unidades de producción son principalmente para autoabastecimiento y se dan básicamente en zonas rurales. Tienen la característica de poseer una población porcina de calidad

genética pobre pero bien adaptada a la baja calidad de la materia prima de sus alimentos. Este sistema de granjas contribuye con el restante 30% de la producción nacional.

Mientras en algunos informes se clasifican las granjas de cerdos por el nivel de tecnología empleado, en otros se utiliza como criterio de clasificación el tamaño de la población de pie de cría. Asimismo, cabe hacer mención que la principal diferencia en la adopción de nuevas tecnologías entre las granjas tecnificadas y las semitecnificadas radica en su capacidad de inversión. La baja capacidad de inversión limita tanto las posibilidades de expansión de la granjas como de crecimiento de éstas en el mercado. Por lo tanto, considerando que existe una correlación directa entre el tamaño de las explotaciones porcinas y su intensificación, el tamaño del hato de pie de cría es un indicador del nivel de intensificación de los sistemas de producción de cerdos.

De acuerdo con lo anterior, Olea categorizó a las granjas en tres tipos: a. Explotaciones de traspatio o familiares: aquellas granjas con menos de 100 cerdas de pié de cría, b. Explotaciones con una población de pie cría entre 100 y 500 cerdas y c. Explotaciones con más de 500 cerdas en el hato de cría.

Es importante enfatizar que de acuerdo al nivel de tecnificación, tamaño, eficiencia y nivel de producción de las explotaciones porcinas depende el impacto que tienen en el medioambiente y a su vez esas características están relacionadas con sus alternativas de tratamiento de sus residuos.

Actualmente, como se mencionó, la mayor producción de carne de cerdo está dada por la porcicultura intensiva, la cual se caracteriza por tener sistemas de manejo tecnificado, con ganado de alta calidad genética, con una elevada eficiencia de mano de obra e insumos y con altos niveles de confinamiento del ganado, por lo tanto, este tipo de producción representa el grupo de granjas con

mayor impacto al ambiente, dado por los grandes volúmenes de insumos que requieren y por la gran cantidad de residuos que generan.

Es por ello que este trabajo se centra en las granjas porcinas de tipo intensivo, ya que los métodos de manejo de excretas que poseen, permiten dar tratamiento a sus aguas residuales de manera sistematizada para su aprovechamiento, situación que no ocurre en las granjas de tipo semiintensivo y de traspatio.

3.1.3. Datos de la producción porcícola en México

El sector porcícola, en las últimas décadas, ha sido uno de los principales abastecedores de carne en el país, ubicándose en el tercer lugar después de la avicultura y la bovinocultura (SAGARPA).

De acuerdo al último censo agropecuario realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en 2007, la producción porcina en México registró 1,152,003 toneladas de carne. De dicha producción el 70% estuvo dada por la participación de seis estados: Jalisco, Sonora, Yucatán, Guanajuato, Puebla y Veracruz (SIAP, 2010). Y el consumo per cápita fue de 14.9 kg (Jones).

El inventario nacional porcino en ese mismo año, fue de 15,273,731 cabezas, del cual se concentró el 52.3% en los seis principales estados productores y fue explotado en el 34% del total de unidades de producción existentes en el país (SIAP, 2010). El restante 47.7% de la población de cerdos se crió en el 66% de unidades porcinas (INEGI, 2007). Estos datos indican que la producción de carne de cerdo en el país es principalmente de tipo intensivo.

3.1.4. Características biológicas del cerdo y entropía en su producción

El cerdo es un animal omnívoro que por sus necesidades nutritivas y por su fin zotécnico -la producción de carne - precisa de dietas balanceadas que le permitan expresar sus capacidades productivas. Actualmente, debido a los sistemas de explotación que prevalecen en el país, su alimentación está basada en cereales y contiene una gran cantidad de proteínas, además para optimizar su producción los porcicultores utilizan un sistema de alimentación por fases, que consiste en adecuar los niveles nutrimentales en las dietas con base en los requerimientos de los cerdos por etapa de producción para alcanzar dos propósitos: obtener su eficiencia productiva y disminuir las emisiones contaminantes al ambiente (Cervantes, Sauer, Morales, Araiza, & Yáñez, 2008; Patience).

Pero aún cuando se intentan ajustar eficientemente las dietas a los requerimientos de la especie, no todos los nutrientes que ingiere son aprovechados. Esa energía que no puede utilizarse en la transformación de un producto final (kilogramos de carne de cerdo) es la entropía, la cual en el cerdo puede calcularse mediante el índice de conversión alimenticia (CA), este índice equivale a la cantidad en kilogramos de alimento que ingiere un animal por los kilogramos de peso vivo que obtiene. En el cerdo la CA es de 3.4 a 3.6 (IPCC, 2007), lo cual significa que requiere de esa cantidad de alimento para producir un kilo de peso vivo. El resto del alimento que es ingerido por el cerdo y no es aprovechado por su organismo (más de dos terceras partes) es eliminado en forma de excretas o emitido al aire en forma de gases como el metano (Backus, 1998; Coma, 2004).

3.1.5. Impacto ambiental de la producción porcina

El desarrollo industrial y la propagación de sistemas intensivos para la producción de cerdos han provocado serios problemas ambientales (Cervantes, Sauer, Morales, Araiza, & Yáñez, 2008).

Para la determinación del impacto ambiental de la industria porcina se deben de considerar los efectos directos de los desechos sobre los recursos naturales aire, agua y suelo y de los elementos trastornadores como olores y plagas de insectos, así como de los efectos indirectos negativos provocados al aspecto paisajístico (Pérez, 2002).

Por el volumen y sus características, las aguas residuales de las granjas porcinas son la principal fuente de contaminación ambiental directa de esta actividad. Estas aguas son una mezcla de gran variedad de elementos, principalmente orgánicos: excretas, alimento desperdiciado, agua de lavado, el agua que se desperdicia de los bebederos de los cerdos, el agua de lluvia, la paja de las camas, materiales del piso de los corrales y otras partículas que son acarreadas con el agua (Taiganides, 1996).

De los componentes de las aguas residuales, las excretas – conformadas por heces y orina - son el principal componente, éstas resultan de la degradación de los alimentos consumidos por el cerdo y se caracterizan por contener un alto contenido de nitrógeno, derivado de la alimentación del cerdo, animal monogástrico, basada en un alto contenido de proteína y una baja cantidad de fibra (Shimada, 2003).

De manera específica los componentes de la cerdaza se expresan en cantidades de sólidos, parámetros fisicoquímicos, nutrientes primarios de fertilización (nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)) y secundarios (boro, calcio, hierro, azufre

y zinc), micronutrientes, metales, parámetros de valor alimenticio y cuentas de coliformes fecales.

En México el agua residual generada en las granjas, en su mayoría sin un tratamiento previo, es manejada de diversas formas: descargada al alcantarillado público, directamente a cuerpos de agua, a terrenos de cultivo o en el suelo a cielo abierto. Por este tipo de prácticas, se presenta la contaminación del manto freático en regiones donde el suelo es permeable y por que las aguas subterráneas se encuentran a poca profundidad; estas características favorecen que los residuos depositados en el suelo pasen a las aguas del subsuelo (Méndez, Castillo, Vázquez, Briceño, & Coronado, 2009).

Es por ello que la contaminación de los cuerpos de agua con excretas animal y humana, sigue siendo en nuestro país una de las principales fuentes de exposición a agentes patógenos. Tal exposición puede ocurrir no sólo a través del agua de bebida contaminada, sino también por medio de cultivos agrícolas regados con agua no saneada que se consumen crudos y sin desinfectar. Por lo que los problemas ambientales más importantes vinculados con las explotaciones porcinas, van relacionados a las aguas residuales y están dados por la descarga de éstas a los cauces fluviales, así como a la utilización de cantidades excesivas como fertilizantes agrícolas. En el primer caso, el vertido de las excretas sobre los cursos de agua, representa un riesgo para los ecosistemas acuáticos. En el segundo, la utilización de estas aguas en suelos de cultivo a dosis superiores a la dosis ecológica e incluso a la dosis agronómica, constituye un sistema para *eliminar* los excedentes producidos con graves afectaciones ambientales al ser descargados sin hacer un debido análisis de su impacto (Cedillo, 2008).

En este punto, es conveniente precisar el significado de la palabra “descarga” ya que con el entendimiento de ella se podrá analizar el contenido de los instrumentos legales.

De acuerdo con el “Manual para el manejo de zonas de riego con aguas residuales” publicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), *descarga*, es la “*acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación*” (CNA, 2010). Esta definición coincide con la asentada en la NOM-001.

Por otro lado, la definición del verbo *descargar* contenida en el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española es “*12. Eximirse de las obligaciones de su cargo, empleo o ministerio, encargando a otro lo que debía ejecutar por sí.*” (RAE, 2001).

Bajo este tenor, es importante puntualizar que las *aguas residuales* son aguas de composición variada, provenientes de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas, las cuales por su naturaleza no pueden utilizarse nuevamente en el proceso que las generó o en otros, a menos que reciban un tratamiento, y que al ser vertidas en cuerpos receptores, pueden implicar una alteración a los ecosistemas acuáticos, así como afectar la salud humana (Arce, Calderón, & Tomasini; CNA, 2010).

A saber, los cuerpos receptores están clasificados en la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Nacionales (LFDMA) e incluyen las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales, así como los terrenos donde se infiltran o inyectan aguas residuales cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

Bajo este contexto y de acuerdo a lo anterior “descargar” se interpreta como la acción por parte de los porcicultores de deshacerse de sus aguas residuales porcinas en cuerpos receptores, sin responsabilizarse de su tratamiento ni de los

daños al medioambiente derivados de ser vertidas crudas o con un tratamiento inadecuado. Lo cual significa entregar las excretas porcinas a la naturaleza para que sea ésta quien procese sus contaminantes, con el consecuente daño al ambiente.

En este sentido, la repercusión más importante ocurre durante la colección, almacenamiento y disposición de los desechos de las granjas por las descargas de sus aguas residuales a cuerpos receptores -suelos y aguas- lo que potencialmente genera su contaminación por patógenos, provoca la eutrofización del agua y acidifica los suelos y aguas. Estos efectos se agravan en los sistemas de producción intensiva debido fundamentalmente a que tienen una limitada disponibilidad de tierra que no es acorde al tamaño de las producciones (Pérez, 2006).

Aparte de la contaminación de los recursos agua y suelo, otra externalidad negativa importante de la porcicultura está dada por la emisión de GEI a la atmósfera. Tal emisión es generada, por un lado, por los procesos de digestión del cerdo que como producto de la fermentación entérica emiten gases al ambiente, principalmente metano, así como de amoníaco, sulfuro de hidrógeno, metano y bióxido de carbono provenientes de las excretas durante su permanencia en el alojamiento de los cerdos. Estos gases pueden causar molestias y riesgos directos a la salud de los empleados de la granja, a la población de cerdos y a las poblaciones humanas aledañas, pero el impacto más serio al aire ocurre durante el manejo y disposición de los desechos, ya que el tipo y la cantidad de gases emitida, depende del sistema de manejo empleado.

Actualmente el sector agropecuario contabiliza cerca del 15% de las emisiones globales antropogénicas de GEI y es responsable de aproximadamente el 47% del total de emisiones antropogénicas de metano, gas que es producido por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como la cerdaza, y es asociada

a la fermentación entérica (básicamente de rumiantes). Es importante hacer notar que las emisiones de GEI provenientes del sector agropecuario se han incrementado en cerca del 17% de 1990 a 2005 (Popp, Lotze-Capmen, & Bodirsky, 2010).

En la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero publicado en 2009, estimación hecha de los GEI emitidos en México de 2004 a 2006, en el componente pecuario se contabiliza la emisión de GEI de dos fuentes: la fermentación entérica y el manejo del estiércol, estos gases son el metano y el óxido nitroso, que participan con una emisión del 85% y 15% respectivamente. En el caso de la porcicultura, la emisión registrada de metano fue de 25.85 Gg, (INE, 2010) ligeramente superior a su participación calculada en el inventario del período 1990 a 2002 (25.62 Gg), siendo el ganado bovino el principal emisor de GEI (INE).

3.2.La política medioambiental en México

La política medioambiental nacional, está compuesta por instrumentos legales que se encuentran integrados jerárquicamente por La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, las leyes, los reglamentos y las normas, que en caso de incumplimiento se hacen acatar a través de resoluciones judiciales (Arvizu, 2005).

La legislación ambiental en nuestros días, ha cobrado gran importancia y ha sido ampliamente debatida. Es así que desde la creación de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en 1994, (actualmente Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT), hasta el papel protagónico de México en los acuerdos internacionales para el cambio climático (Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático -COP16/CMP6-, celebrada en Cancún, México en 2010), las

leyes en materia ambiental han sido cuestionadas e interpretadas de diversas maneras. Es así, que en la década de los ochenta el mayor énfasis se dio a la contaminación por patógenos de los efluentes, para los noventa lo fue la calidad de los cuerpos receptores y actualmente la liberación de gases con efecto invernadero han ganado la mayor atención (Pérez, 2006).

En este sentido, el marco legal mexicano en materia ambiental de importancia para la porcicultura, regula la práctica de las granjas con relación a sus desechos y descargas, a través de disposiciones que intentan evitar la contaminación ambiental o fomentar el aprovechamiento de sus subproductos.

Por tal motivo es importante establecer el nivel de injerencia de las leyes en el marco de operación de las granjas porcícolas. La Tabla 1, contiene los seis principales instrumentos legales que rigen a la porcicultura en materia ambiental.

Estos instrumentos tienen dos enfoques: uno directo, basado en regulaciones (“comando y control” o normas) y otro indirecto representado por los incentivos de mercado donde se incluyen los impuestos pigouvianos, los derechos de propiedad, y la creación de mercados. Dentro de los primeros se encuentran la Ley General de Salud (LGS), Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley de Aguas Nacionales (LAN), Ley Federal Derechos (LFD), la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001), y en el segundo rubro se encuentra el PECC.

Tabla 1. Principales instrumentos de la política ambiental mexicana de importancia para la porcicultura y las dependencias encargadas de su aplicación.

Dependencia responsable	Instrumento regulatorio	Fuente
Secretaría de Salud (SS)	LGS	Diario Oficial de la Federación (DOF) del 7 de febrero de 1984 Última reforma DOF 27 de abril 2010
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	LGEEPA	DOF del 28 de enero de 1988 Última reforma publicada DOF, 6 de abril de 2010
SEMARNAT	LAN	DOF del 1º de diciembre de 1992 Última reforma publicada DOF, 18 de abril de 2008
Secretaría de Hacienda y Crédito Público	LFD	DOF del 31 de diciembre 1981 Última reforma publicada DOF 18 de noviembre de 2010
SEMARNAT	NOM-001	DOF del 6 de enero de 1997
SEMARNAT	PECC	DOF del 28 de agosto de 2009

4. Disposiciones de los instrumentos de la Política Ambiental Mexicana de interés para la porcicultura

Como segunda etapa, se abordarán las disposiciones contenidas en los instrumentos de la política ambiental que tienen injerencia en la porcicultura nacional, los cuales se clasifican en instrumentos regulatorios y en instrumentos que fomentan la creación de mercados.

4.1. Instrumentos regulatorios

Una de las primeras leyes promulgadas en México en materia ambiental, fue la LGS (Ley General de Salud), la cual tiene la tarea de resguardar la salud de los mexicanos, ya sea a través de la atención médica o vigilando la calidad del medio ambiente de la población. En lo referente al sector porcícola, esta ley tiene entre sus objetivos, evitar la transmisión de enfermedades de los cerdos al hombre

mediante el monitoreo y control de la calidad biológica y concentración de contaminantes en las descargas de aguas residuales de las granjas (Art. 118, 122 y 155). Así, la LGS fija los criterios sanitarios de contenido de huevos de parásitos, amibas y coliformes fecales que deben cumplir las descargas porcinas (Art. 118 y 134).

Para lo cual, la LGS, en conjunto con la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente), elabora normas oficiales mexicanas ecológicas con el fin de monitorear las condiciones particulares de descarga³, tratamiento y uso de aguas residuales, (Art. 118 de la LGS; Art. 90 de la LGEEPA).

Sin embargo, el alcance de la LGS en materia pecuaria, se restringe básicamente al impacto que tiene este sector sobre la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico, y no incluye el control de otras implicaciones ambientales de la porcicultura. Situación que es cubierta por la LGEEPA, ley cuyo principio básico es la sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y que norma cualquier proceso de contaminación de las aguas nacionales con el objeto de evitar y controlar su eutricación y salinización, fenómenos que se generan, entre otras causas, por la excesiva lixiviación o escurrimiento de nutrientes presentes en los residuos porcinos cuando después de una inadecuada aplicación llegan hasta cuerpos receptores de agua (Art. 1° y 93).

Esta ley también regula que el aprovechamiento del agua en actividades pecuarias conlleve la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales antes de reintegrarlas a las aguas nacionales y así puedan ser utilizadas en otros procesos

³ De acuerdo a la NOM 001, las condiciones particulares de descarga son el conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional de Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

de producción (Art. 117). Además, establece que las aguas residuales provenientes de actividades agropecuarias que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado o en cualquier depósito o corrientes de agua, así como los que se derramen en los suelos, deben sujetarse a los preceptos establecidos en la norma oficial mexicana (NOM) correspondiente, que para el caso de la porcicultura aplica la NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001), cuyas disposiciones se detallan más adelante (Art. 120 y 122).

La regulación en el control de las descargas en aguas y suelos, por parte de la LGEEPA, (Art. 119 párrafo I), se hace de conformidad con lo previsto en la LAN (Ley de Aguas Nacionales), instrumento legal que tiene como quehacer ordenar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como su distribución, control, y preservación; además de apoyar al diseño de tarifas y derechos de agua, incluyendo su extracción, y descarga de aguas residuales, a través de estudios de valoración económica y financiera del agua (Art. 1°, 12 bis 6).

Por lo que la LAN, establece que es deber de quienes exploten, usen o aprovechen el recurso hídrico, hacer un pago de acuerdo a lo dispuesto en la LFD (Ley Federal de Derechos), y exige que existan las concesiones, asignaciones y permisos correspondientes, tanto para el aprovechamiento del agua, como para efectuar descargas en ella (Art. 88 y 112).

Así también, la LAN obliga por igual a granjas pequeñas y grandes que descarguen sus efluentes y al hacerlo contaminen los recursos hídricos, a restaurar su calidad, (Art. 14 bis 4, LAN). Dispone como deber de las empresas productoras de cerdos, reintegrar el recurso hídrico en condiciones propias que permitan su uso posterior en otras actividades, y prohíbe la contaminación de cuerpos receptores con lodos derivados del tratamiento de aguas residuales (Art. 86 y 86 bis).

Por lo que las granjas que deseen descargar a aguas nacionales deberán hacerlo conforme a lo dispuesto en el Art. 87 de esta ley que establece que las descargas que se hagan a cuerpos de aguas, deben cumplir los parámetros fijados de acuerdo a la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos puedan recibir.

En resumen la LAN señala que es obligación de quienes deseen descargar aguas residuales: solicitar un permiso, dar tratamiento a las aguas antes de ser vertidas, instalar medidores para determinar y reportar el volumen y las concentraciones de los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen, realizar el monitoreo de la calidad de las descargas (Art. 88 bis) y el pago del derecho correspondiente (Art. 112).

El pago de derechos que deberán cubrir los porcicultores que efectúen descargas a aguas nacionales se encuentra establecido en la LFDMA, el cual estará en función de la zona de disponibilidad, el volumen de agua descargada, la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) presentes en las descargas (Art. 278).

La Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas dispone que quienes descarguen aguas residuales en depósitos o corrientes de agua, en suelos o las infiltren en terrenos que potencialmente puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos, paguen un derecho (Art. 276), cuyo monto corresponderá al tipo de cuerpo receptor en donde se realice la descarga (A, B o C, clasificación establecida en esta ley), al volumen de descarga y a los contaminantes vertidos (Art. 278 y 278-A). En el caso de que las concentraciones de contaminantes sean superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001 (NOM-001-ECOL-1996), se pagará un derecho conforme a lo dispuesto en el artículo 278-C de esta Ley.

La NOM-001, establece los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Esta norma regula las concentraciones de aguas residuales de los contaminantes básicos siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total, temperatura y potencial de hidrógeno (pH) en un rango de 5 a 10 unidades. También regula la contaminación por patógenos en los que considera como indicador a los coliformes fecales (que si bien estos microorganismos no son los que más daño causan a la salud, su presencia es indicativa del ingreso de materia fecal en el agua y alerta sobre la presencia potencial de otros organismo más virulentos como Salmonella, Shigella, Campylobacter y Vibrio cólera) y la contaminación por parásitos que toma como indicador los huevos de helminto. Así como la concentración de metales pesados: arsénico, cadmio, cianuro, cobre, mercurio, cromo, níquel, plomo y zinc. (Tabla 2. Anexo)

Esta NOM para establecer los LMP se basa en criterios de tipo de cuerpo receptor y el uso posterior que se hará del agua con el objeto de proteger estos receptores y posibilitar los usos subsiguientes del agua, su cumplimiento es obligatorio para quienes efectúen descargas de aguas residuales. Para lo cual clasifica en cinco los cuerpos receptores: ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras, suelo y humedales naturales y de acuerdo con el uso posterior que se le dará al agua los cuerpos receptores se clasifican en A, B o C.

La NOM-001 para su cumplimiento estableció en sus preceptos la fecha de cumplimiento de las disposiciones, dividiéndolas en descargas municipales y no municipales, dentro de éstas últimas se encuentran las aguas residuales porcinas. Los plazos de cumplimiento fueron fijados conforme a la mayor carga contaminante de las aguas residuales, expresada en demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST) según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga presentada a la

Comisión Nacional del Agua (CNA). De tal manera que para el 1 de enero de 2010 todas las explotaciones porcinas que efectúan descargas de aguas residuales a cuerpos de agua o bienes nacionales tendrían que estar cumpliendo la NOM-001. Situación que en la práctica no ocurre.

4.2. Instrumento que fomenta la creación de mercados.

Aparte de los instrumentos regulatorios incluidos en la política ambiental nacional, se encuentra el PECC (Programa Especial de Cambio Climático), el cual es una iniciativa del gobierno que plantea estrategias y metas para enfrentar el CC en México, dirigidas a la mitigación de GEI y a la adaptación de la sociedad a la vulnerabilidad como efecto de este fenómeno. El programa compromete a todas las dependencias del Gobierno Federal a tomar acciones ante el CC y está conformado de cuatro componentes: Visión de Largo Plazo, Mitigación, Adaptación y Elementos de Política Transversal.

El PECC en el componente de *Visión de Largo Plazo* fija como meta aspiracional para México, mitigar para el año 2050 las emisiones de GEI en un 50% con relación a las emitidas en el año 2000, y estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel no superior a 450 ppm de bióxido de carbono equivalente (CO₂^e) compatible con un límite del incremento en la temperatura global superficial promedio de 2°C y 3°C. Para ello, respecto al sector agropecuario, resalta la necesidad de una mejora en sus prácticas de producción para mitigar las emisiones de GEI, particularmente de metano, a través de una mayor incorporación de biodigestores y de prácticas agrícolas sustentables, como la labranza de conservación de los suelos agrícolas y la optimización en el uso de los fertilizantes. En cuanto a adaptación plantea la necesidad de tomar medidas en los sistemas de producción agropecuarios que garanticen una mayor captura de carbono.

En *Mitigación*, el PECC impulsa la descarbonización de la economía mexicana al inducir la disminución de la intensidad de carbono (proporción de GEI por unidad de Producto Interno Bruto). Y plantea entre los objetivos del rubro *fuentes renovables de energía para usos térmicos* del tema *Generación de Energía*, fomentar la producción y el uso sustentable de biocombustibles en México, como una alternativa tecnológica baja en carbono, en el que la porcicultura tiene un papel significativo debido al potencial presente en las excretas para sustituir a los combustibles fósiles en forma de biogás.

De tal forma, el PECC enfoca las medidas de mitigación en ganadería hacia el manejo de productos derivados de la fermentación entérica y de las excretas de animales, y a fomentar la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables de energía y en la cogeneración.

Por el lado de la agricultura -actividad que por naturaleza es inseparable de la producción pecuaria- el objetivo es reducir las emisiones de óxido nitroso provenientes de los fertilizantes, con la meta de obtener un ahorro del 15% a partir de la producción de biofertilizantes.

El tema de desechos, que comprende las emisiones derivadas de los residuos sólidos urbanos y de las aguas residuales, es un área de oportunidad para el aprovechamiento de metano y la reducción de emisiones. Su objetivo es incrementar y modernizar la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, incentivar la capacidad de reúso y reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, en Política Transversal, el PECC contempla en *Política exterior*, los mercados de carbono y en general el uso intensivo de mecanismos de mercado para impulsar las actividades de mitigación. En este sentido México ya tiene una participación activa, en los Mercados de Metano. Además, el PECC, impulsa la

creación del “Fondo Verde”, un Fondo Mundial para contribuir a que los países mitiguen y se adapten al CC a través del financiamiento de proyectos y programas; y hace notar la participación del fideicomiso Fondo Mexicano de Carbono (Fomecar), mediante el cual se hace la promoción de proyectos de mitigación para el aprovechamiento que ofrece las oportunidades del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

En *Economía del cambio climático*, otro instrumento de la política transversal, resalta el desarrollo de herramientas para la valoración del carbono en la economía nacional, en particular un mercado nacional de carbono, en donde pueda coexistir un sistema de permisos comerciables de emisiones y otras posibles regulaciones o mecanismos fiscales.

De acuerdo al PECC uno de los instrumentos más eficaces para iniciar el proceso de valoración del carbono en los diversos sectores económicos son los mercados de carbono, los cuales requieren del soporte de otros instrumentos de política, especialmente del establecimiento de límites y permisos de emisión de GEI, con penalizaciones en caso de excederlos o incentivos, como el acceso a mercados de carbono, en el caso de no utilizarlos completamente. El PECC busca impulsar un proceso de valoración del carbono, con el fin de fortalecer las capacidades institucionales para promover y llevar a cabo proyectos de reducción de emisiones, destinados a mercados internacionales de carbono, entre ellos los MDL e iniciar un mercado nacional de emisiones de GEI, desarrollar y poner en operación un mercado de carbono entre las empresas paraestatales del sector energía, con la incorporación de empresas privadas de sectores clave y consolidar la iniciativa de Mercados de Metano en México.

Finalmente, el PECC, propone para mitigar las emisiones de GEI y reducir la vulnerabilidad al CC, internalizar el costo relacionado con las externalidades ambientales negativas de las diversas actividades ligadas a los energéticos, ya

que normalmente no se incluyen en sus precios, es decir, aplicar el principio “*el que contamina paga*”.

4.3. Sanciones en caso de incumplimiento a la legislación ambiental.

El tema fundamental en el que incide la normatividad ambiental en la porcicultura es en el de las aguas residuales, ya que como se anotó, sigue siendo una práctica común en las granjas descargarlas a cuerpos de agua y suelos sin un tratamiento previo.

Es así que la Comisión Nacional del Agua (CNA), organismo regulador de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, en ámbito de la competencia federal, realiza la inspección de las descargas de aguas residuales de las explotaciones porcinas con el objeto de verificar el cumplimiento de la ley.

La CNA, para determinar las condiciones particulares de descarga, considera los parámetros y LMP de contaminantes contenidos en las NOM-001, así como los parámetros y límites máximos que se derivan de las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales publicadas en el artículo 87 de la LAN, en función del uso posterior que se le dé al agua.

La NOM-001 publicada en 1997, tuvo una aplicación gradual en función de la carga contaminante de las descargas, medida con base en la DBO o los SST. De tal forma que contaminadores con más 3.9 ton/día de DBO o SST, tuvieron fecha de cumplimiento el 1° de enero de 2000, aquellos con un nivel de contaminación entre 1.2 y 3 ton/día, el 1° de enero de 2005, para finalmente aquellos con descargas menores de 1.2 ton/día al 1° de enero de 2010, por lo que actualmente todos aquellos que realizan descargas están obligados a hacerlo observando la ley.

De acuerdo a lo anterior, los porcicultores, al disponer de sus aguas residuales deberán atender puntualmente los LMP establecidos en la NOM-001 (Tabla 2, Anexo), ya que su incumplimiento puede ser causal de:

- La suspensión de las actividades, por parte de la CNA, de acuerdo al artículo 92 de la LAN cuando *“I. No se cuente con el Permiso de Descarga de aguas residuales en los términos de esta ley”*, cuando *“II. La calidad de las descargas no se sujete a las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta Ley y sus reglamentos”* y cuando *“IV. El responsable de la descarga, contraviniendo los términos de Ley, utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga”*
- La cancelación del permiso de descarga de aguas residuales, conforme al artículo 93 de la LAN, al efectuar la descarga en un lugar distinto del autorizado por la CNA, realizar los actos u omisiones que se señalan en las fracciones II y IV del artículo 92 de la LAN, cuando con anterioridad se hubieren suspendido las actividades del solicitante por la CNA por la misma causa.
- También, conforme al artículo 96 de la LAN, en las zonas de riego, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir con las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la LAN y sus reglamentos, para lo cual, la CNA promoverá las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca hidrológica o acuífero.
- Por lo tanto, acorde al artículo 96 BIS 1, los porcicultores que descarguen aguas residuales, en violación a las disposiciones legales y que causen contaminación en un cuerpo receptor, deberán de reparar el daño ambiental

causado, mediante la remoción de los contaminantes del cuerpo receptor afectado y restituirlo al estado que guardaba antes de producirse el daño, o si esto no fuera posible, mediante el pago de una indemnización que se fijará en términos de Ley.

- En ese sentido la LGS en el artículo 421 bis, menciona la sanción por violar las disposiciones contenidas en el artículo 122 de esa misma ley, el cual versa sobre los criterios sanitarios que deben de satisfacer las descargas de aguas residuales de acuerdo con la fracción III del artículo 118, la cual es igual a la *“multa equivalente de doce mil hasta dieciséis mil veces el salario mínimo general diario vigente en la zona económica de que se trate.”* Y menciona, en su artículo 423, que en caso de reincidencia se duplicará el monto de la multa que corresponda. Asimismo, el artículo 425, establece que se procederá a la clausura temporal o definitiva, parcial o total según la gravedad de la infracción y las características de la actividad.
- Así también, en el artículo 457 la LGS señala la sanción a aquellas infracciones consideradas como delitos que para el caso de la porcicultura aplica el siguiente: *“Se sancionará con pena de uno a ocho años de prisión y multa por el equivalente de cien a dos mil días de salario mínimo general vigente en la zona económica de que se trate, al que por cualquier medio contamine un cuerpo de agua, superficial o subterráneo, cuyas aguas se destinen para uso o consumo humanos, con riesgo para la salud de las personas.”*
- Por otro lado, el cobro de derechos por descargas de aguas residuales, será de acuerdo a la clasificación de los cuerpos receptores (ríos, lagos, lagunas, entre otros) que son de tres tipos: A, B o C, según los efectos ocasionados por la contaminación, los cuerpos receptores tipo C son aquéllos en los que la contaminación tiene mayores efectos. La lista de cuerpos receptores que pertenecen a cada tipo se encuentra en la LFD. Las cuotas por descarga de aguas residuales están relacionadas con el volumen de descarga y la carga de contaminantes, las que pueden consultarse en el artículo 278 C de la LFD.

5. Consideraciones sobre la legislación vs porcicultura

De acuerdo a la revisión de los instrumentos legales anteriores, las disposiciones que atienden el impacto ambiental generado por la producción de cerdos observan, por una parte, la contaminación por polvo, olores y gases que afectan directamente la salud de los trabajadores de las granjas y potencialmente la de los núcleos de población aledaños. Por otro lado, regulan de manera puntual lo relativo a aguas residuales mediante el establecimiento de los LMP de contaminantes presentes en las descargas, fija el pago de derechos por el uso y aprovechamiento de los cuerpos receptores como resumideros y obliga al pago de derechos a quienes rebasen los LMP de contaminantes.

En otro sentido, se encuentra el PECC, programa que impulsa el desarrollo de proyectos para mitigar los GEI bajo Mecanismos de Desarrollo Limpio a través de los mercados de carbono, rubro en el que los poricultores se han ido integrando a través de la instalación de biodigestores, tecnología que reduce la emisión de metano, y en el que pueden participar de manera más dinámica apoyados de los programas gubernamentales. El PECC, también considera importante la participación del sector pecuario en el tema de *fuentes renovables de energía para usos térmicos*, mediante la generación de biocombustibles como el biogás, así como la producción de biofertilizantes a partir del tratamiento de la cerdaza en biodigestores.

Por otro lado, respecto al pago de derechos por la descarga de aguas residuales, fijado en la LFD, difícilmente los poricultores evitarán su pago si efectúan descargas, pues de acuerdo con Pérez (2006), en su estudio realizado en la Piedad, Michoacán, los productores a pesar de haber invertido en sistemas de tratamiento de aguas residuales, no cumplen con los LMP establecidos en la NOM-001. El pago de estos derechos es muy elevado y, continúa Pérez, puede

representar en algunos casos casi el 10% del precio de un cerdo de 100 kg. Lo cual no es económicamente favorable para el porcicultor.

6. Alternativa de tratamiento de las aguas residuales porcinas

El principal problema al que se enfrentan los porcicultores para cumplir la normatividad ambiental, es a las características de las aguas residuales que generan, debido al alto contenido de SST, DBO y de coliformes fecales, parámetros sobre los cuales debe incidir el tratamiento aplicado a las excretas por parte de los porcicultores.

A este respecto, existen diferentes tipos de tratamiento que pueden emplearse para disminuir la carga de contaminantes que acarrear las aguas residuales porcinas, estos tratamientos se clasifican en físicos, químicos y biológicos o en primarios, secundarios y terciarios (Ramírez). Sin embargo, la mejor opción para el tratamiento de las aguas residuales de las granjas porcinas, será aquella que conjugue un menor costo y un mayor rendimiento en la remoción de contaminantes.

En este sentido la alternativa planteada en este trabajo es el reciclaje de las excretas porcinas en la agricultura, empleando para ello la utilización de biodigestores.

La hipótesis está fundamentada en las características de la cerdaza, la cual tiene un valor intrínseco dado por su contenido en materia orgánica, que puede sufrir una rápida y casi completa descomposición principalmente anaerobia, así como por su contenido rico en nutrimentos que son factibles de ser incorporados al suelo en forma de abono, ya que las excretas poseen N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, B, Cu, Co, Mo, elementos que representan el 2.5% de su contenido total, y que muchos de los cuales no están presentes en los abonos comerciales (Taiganides, 1996).

Siendo de todos ellos, el N y el P los de mayor interés por ser parte de los ciclos biogeoquímicos más importantes en la naturaleza y de los cuales dependen los sistemas de producción agrícola por su función fisiológica, estructural y de transferencia de energía (Soria, Ferra, Etcheves, Alcántar, & Trinidad, 2001).

La importancia de procesar las excretas mediante digestión anaerobia, reside en efectuar su reciclaje y eficientar el aprovechamiento de sus recursos, para así contribuir a mitigar la cantidad de emisiones de GEI al medio ambiente y reducir la cantidad de los recursos extraídos del entorno natural. Por lo que se discute la alternativa del empleo de biodigestores para el tratamiento de la cerdaza y la disposición posterior de sus subproductos con apego a la ley. La hipótesis de este trabajo está encaminada a hacer de la porcicultura una actividad sustentable apoyada en las oportunidades que plantea el PECC.

7. Uso de biodigestores para el tratamiento y aprovechamiento de las excretas porcinas.

Como se mencionó, el objetivo de la NOM-001 es posibilitar el uso de las aguas residuales y proteger las aguas y bienes nacionales que se utilizan como vertederos. Razón por la cual el procesamiento de las aguas residuales porcinas mediante biodigestores es una tecnología acorde a las explotaciones con sistemas de producción intensivos, que son las que mayor impacto ambiental producen (Cervantes, Saldívar, & Yescas, 2007) Figuras 2 y 3.

De acuerdo con la NOM-001, la limitante que encuentran las granjas de cerdos para descargar sus aguas residuales, es el contenido que éstas presentan en SST, DBO y coliformes fecales y la limitante para ser utilizado para riego agrícola principalmente es por su contenido en coliformes fecales.

El procesamiento de las excretas en los biodigestores disminuye el contenido de los SST y la DBO, a la vez que permite la estabilización de los nutrientes contenidos. De tal forma que mediante la digestión anaerobia, es posible transformar la materia orgánica (DBO) de las aguas residuales porcinas en biogás, combustible natural que es una mezcla de gases, en donde predominan el CH₄ en más del 60% y el CO₂ en menos del 40% (Cornejo & Wilkie, 2010). El metano, GEI, le da la característica al biogás de ser inflamable, por lo que puede ser aprovechado como energía térmica, en la obtención de energía eléctrica o bien se puede quemar directamente a través de convenios con empresas dedicadas a la comercialización de “bonos de carbono”, mediante el desarrollo de proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), considerado en el apartado de instrumentos de política transversal del PECC.

Por otra parte, los nutrientes de las excretas quedan incluidos en el efluente y en los lodos o biosólidos generados durante el proceso de digestión con excelentes características fertilizantes (Soria, Ferra, Etcheves, Alcántar, & Trinidad, 2001).

Tabla. 3.

Tabla 3. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el afluente y efluente del biodigestor anaeróbico.

Parámetros	Afluente	Efluente
Nitrógeno total (%)	0.1036	0.058
Fósforo total (mg L-1)	179	17.2
Potasio total (mg L-1)	263.9	363.8
Calcio total (mg L-1)	56.6	19.7
Magnesio total (mg L-1)	109.3	59.3
Hierro total (mg L-1)	2.64	1.159
Cobre total (mg L-1)	1.3	0.225
Zinc total (mg L-1)	26.7	0.611
pH	7.6	7.05
CE (dS m-1)	5.8	4.08
DQO (mg L-1)	2640.8	1399
DBO (mg L-1)	543	172.2
SSed (mg L-1)	1672	210
UFC coliforme en 100 mL-1	9x10 ¹¹	0

Fuente: Soria, 2001

En la Tabla 4, se anotan las características de las excretas a la entrada del biodigestor (afluente) y a su salida (efluente). Como se observa, el afluente sufre una disminución en sus componentes, siendo particularmente notoria en la DBO que disminuyó en 75%. El potasio fue el único elemento que incrementó su contenido en 137.85%.

Tabla 4. Características de las excretas porcinas a la entrada y a la salida de un biodigestor.

Parámetro	Entrada	Salida
Sólidos totales (% en peso) ¹	6.3	3.3
Sólidos volátiles (% en peso) ²	85.8	70.3
DBO (mg/l)	42,351	10,587
DBO (mg/l)	42,351	10,587
Alcalinidad (mg/l)	239.1	157.2
Ácidos volátiles (mg/l)	358.3	157.2
Sólidos volátiles	26.3	11.2
Kg DBO/día (mg/l) ³	20.3	5.08
pH	6.6	8.2

¹Base Húmeda. ²Base Seca. ³Demanda Química de Oxígeno.
Fuente: Mariscal.

En cuanto al contenido de coliformes fecales, de acuerdo con Núñez (1987) y Soria, (2001), mediante este procedimiento se puede eliminar al 100%. Tabla 3.

7.1. Uso de las excretas para fertilización de suelos agrícolas

Debido a la dificultad que encuentran los porcicultores para cumplir con las condiciones de descarga establecidas en la política ambiental nacional y por el impacto que provocan en los recursos naturales, en este trabajo se propone la gestión de las aguas residuales porcinas por parte de los productores hasta su reciclaje.

Como se mencionó, son tres los parámetros presentes en las aguas residuales porcinas las que limitan la utilización de tratamientos convencionales para disminuir su carga contaminante, DBO, SST y coliformes fecales, sin embargo, con el empleo de biodigestores se puede obtener primeramente la remoción de los coliformes fecales hasta en un 100%, dependiendo del tiempo de retención empleado en el proceso, no obstante, aunque con esta tecnología existe una disminución sustancial en el contenido de SST y de DBO, sus efluentes rebasan los LMP dispuestos en la NOM-001, por lo tanto, aún después de este tratamiento, los efluentes tampoco son aptos para descargarse en aguas y otros bienes nacionales.

7.2. Compatibilidad de los residuos porcinos y los suelos

Estadísticamente uno de los problemas más graves generados por la porcicultura, tanto económicos como ecológicos, es el cambio de uso de suelo para la producción de insumos destinados a la alimentación del ganado, ya que ésta es una de las razones por las que se ha ido extendiendo la frontera agropecuaria, asociada a la poca eficiencia de los sistemas agrícolas y al manejo del suelo sin respetar su aptitud agrícola (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2008).

Esto ha llevado a que en el país exista pérdida de suelos por erosión con severos estragos en los sistemas agrícolas pues los suelos erosionados se pueden convertir en estériles y provocar pérdida total del suelo productivo.

De ahí que los sólidos y materia orgánica presentes en las aguas residuales porcícolas pueden ser aprovechados por el suelo agrícola y la cobertura vegetal, de manera que una buena cantidad del suelo perdido por erosión se restituya por la aportación de sólidos orgánicos e inorgánicos presentes en el efluente de los

biodigestores instalados en granjas porcinas. Esta práctica debe ser entendida no como descarga, ni como riego agrícola, sino como la aplicación del efluente bajo un sistema de fertilización técnicamente calculado con base en los requerimientos de los suelos. De tal manera que los productores no efectuarán la descarga de sus aguas residuales, ni de sus efluentes, sino que participarán con el mejoramiento de los suelos mediante el reciclaje de sus excretas. Lo cual no sólo es útil desde los puntos de vista productivo y ambiental, sino que además atiende las disposiciones legales de dar tratamiento a las aguas residuales para su posterior uso (LAN Art. 86 y 86 bis).

De acuerdo con Lansing, et al. (2010), diversos estudios han demostrado que el efluente de los biodigestores ha sido usado con éxito para mejorar la producción de cultivos. También se han reportado mayores rendimientos en la producción de maíz fertilizado con excretas digeridas que con excretas crudas. Sin embargo, los beneficios de la utilización de estiércol digerido como fertilizante, no se restringen a la producción de alimentos, ya que cuando se aplica a la tierra emite menos GEI y existe menos pérdida de N por lixiviación, denitrificación y de emisiones de amoníaco, que cuando se aplica el estiércol crudo (Stepanhie, Stepanhie, Martin, Botero, Nogueira, & Dias, 2010).

Así también, Stafford (1993), tras una prueba realizada durante tres años empleando el efluente de digestores anaerobios como fertilizante de pastizales, observó que el rendimiento de peso en seco atribuido a la aplicación del efluente fue más grande que el registrado por el estiércol licuado en bruto. Lo que sugiere que el nitrógeno presente en el efluente se encuentra en forma más asequible para el crecimiento y el metabolismo de las plantas.

Es así que se propone integrar la producción pecuaria con la agricultura moderna para asegurar un adecuado reciclaje de los nutrientes que son eliminados por los animales.

Sin embargo, el efluente del biodigestor debe ser usado de manera calculada, principalmente por el contenido de nitrógeno, fósforo y el potasio presentes en él. Por lo tanto, con la intención de lograr el uso sustentable del suelo cuando se utiliza el efluente de los biodigestores como biofertilizante, es importante analizarlo para conocer sus características fisicoquímicas y biológicas, así como seleccionar los sitios más adecuados para su aplicación, evitar una sobrefertilización y minimizar los riesgos de contaminación o degradación de la calidad del suelo (Figueroa, 2008). Así mismo, los nutrientes aplicados al suelo deben ser balanceados contra la capacidad de remoción de nutrientes del sistema *suelo-planta* y minimizar la contaminación de las aguas subterráneas y otros cuerpos receptores (CNA, 2010).

Por lo tanto, se requiere realizar un balance de nutrientes previo a la aplicación del efluente en forrajes y pastizales, tomar en cuenta las dosis de fertilización del cultivo a fertilizar y tratar de cubrir esos requerimientos con los nutrientes contenidos en el efluente de los biodigestores. El balance debe estar sustentado principalmente en la demanda de nitrógeno y fósforo, previniendo la aplicación excesiva de cualquiera de ellos y a la vez evitar exceder los límites de otros elementos como el cobre y el zinc, los cuales están presentes en altas cantidades en las excretas porcinas. En caso de que no se puedan cubrir los requerimientos de nutrientes con las excretas se puede complementar con fertilizantes inorgánicos. Esta práctica contribuirá al objetivo señalado en el PECC de reducir en 15% la utilización de fertilizantes inorgánicos en la agricultura y a evitar la descarga de aguas residuales porcinas, ya que en ningún momento el productor estará evadiendo la responsabilidad sobre sus residuos.

7.3. Participación de la porcicultura en la mitigación de GEI.

Como se mencionó, una de las áreas de oportunidad actuales en la actividad porcina, es el aprovechamiento de sus residuales en la generación de energía

renovable (biogás) y su inclusión como proyectos del MDL que tienen el objetivo de proteger el medio ambiente y ayudar al desarrollo sustentable de México, lo cual puede lograrse a través de la implementación de biodigestores en las granjas porcícolas.

De acuerdo al Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI), hasta mediados de 2007 existían en su cartera 178 proyectos mexicanos de MDL con cartas de aprobación. De estos proyectos, 88 (49%) correspondían a “Manejo de Residuos en Granjas Porcícolas” las cuales sumaron una reducción total de 2,507 Ktons/año de CO_2^{eq} .

Aquellos productores que operan bajo proyectos MDL en México están en posibilidad de obtener y vender Certificados de Reducción de Emisiones de GEI por cantidades entre 4 y 20 millones de toneladas de CO_2^{eq} anuales que podrían representar ingresos adicionales a su producción de entre 20 y 200 millones de dólares anuales.

En la página de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en el apartado sobre MDL se encuentran relacionados los proyectos que México ha registrado ante este organismo y la cantidad de Certificados de Reducción de Emisiones de GEI que han liberado para su venta, información que es pública, sin embargo las cifras referentes a los bonos vendidos en el mercado internacional no están registrados en dicha página, debido a que de acuerdo a la información obtenida vía telefónica con AgCert México Servicios Ambientales, S. de R.L. de C.V. (empresas que ofrece en México el servicio de comercialización de bonos de carbono en el mercado internacional) esta información es confidencial de las empresa dedicadas a este servicio (UNFCCC).

7.4. Ventajas del uso de biodigestores en la producción porcina

En síntesis este sistema de tratamiento tiene los siguientes beneficios para los porcicultores:

- Disminuye la cantidad de vectores transmisores de enfermedades y la diseminación de malos olores.
- Disminuye potencialmente el uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura al utilizar el efluente como fertilizante. Esto atiende a las medidas de mitigación en cuanto al uso de fertilizantes, señalado en el PECC.
- Elimina del efluente los coliformes fecales hasta en un 100%
- Disminuye la emisión de GEI debido a la reducción en la demanda de combustibles fósiles y por la captura controlada de gas metano (Aguilar & Botero, 2006)
- Es económicamente benéfico para las empresas por la generación de energía eléctrica y por su ahorro por este concepto. Por lo tanto es una fuente alternativa de energías no renovables.
- Puede adaptarse al tamaño de las explotaciones porcinas, por lo tanto puede usarse en granjas de gran escala, pero también puede usarse el modelo de plantas de biogás de polietileno de bajo costo aplicado a granjas pequeñas, el cual ha sido adoptado por parte de agricultores en América Latina como Colombia y Cuba y en países del Sureste Asiático (Aguilar & Botero, 2006; Pérez, 2002).
- En la producción de biogás destaca su aprovechamiento para la quema directa, mediante convenios con empresas dedicadas a la comercialización de “bonos de carbono”, mediante proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio a partir del estiércol.

Por el manejo sistemático de excretas que presentan las explotaciones porcinas de tipo intensivo, el potencial de uso de los biodigestores puede ser una solución al problema ambiental provocado por sus residuos. De tal forma que los grandes volúmenes de excretas derivados de la producción de cerdos sean transformados a biogás para la generación de calor y energía eléctrica para autoabasto, así como para la obtención de biofertilizante para el mejoramiento de los suelos de cultivo. Siguiendo así con la tendencia a cambiar a matrices energéticas que no dañen el medioambiente (Pisciottano, 2010).

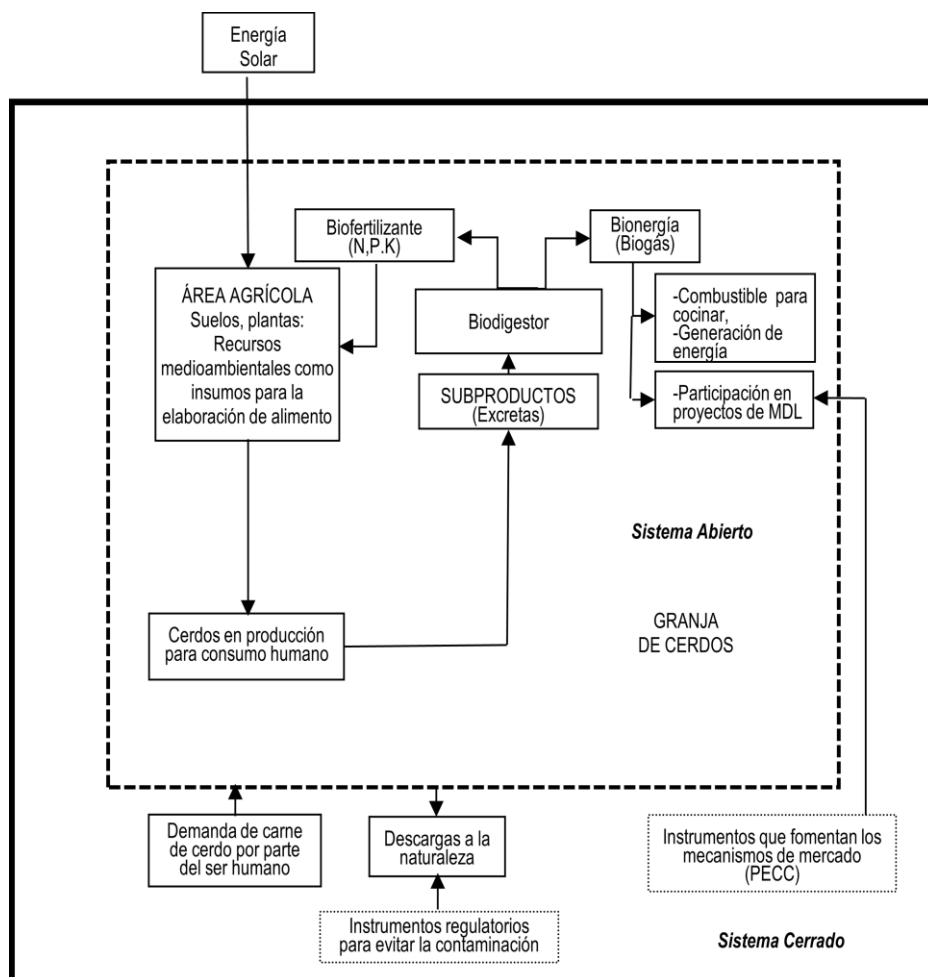
Por otro lado, a pesar de que una desventaja de los biodigestores es su alto costo, existen formas para financiar la instalación de esta tecnología, como se verá más adelante.

8. Factibilidad de la producción de cerdos dentro de las disposiciones legales

Conforme a la revisión anterior, se observa que la intervención de la legislación ambiental mexicana en las explotaciones porcinas ocurre cuando éstas efectúan sus descargas al medio natural, con la posibilidad de que los porcicultores sean sancionados si la incumplen. Es así que los productores están obligados a dar tratamiento a sus aguas residuales para reciclar sus excretas, evitar así infringir la ley y reducir el impacto ambiental.

Dado que la porcicultura forma parte de un sector económico importante para la sociedad, es conveniente que esté en equilibrio con los sistemas ambientales y legales, por lo que a continuación se plantea un marco de acción sustentable para la porcicultura:

Figura 1. Sistema de producción porcina sustentable
(Adaptado de Common, M., y Stagl, S. 2008)



La Figura 1, representa un sistema de producción porcina, en donde la granja de cerdos es un sistema abierto que intercambia energía y masa con su exterior.

Este sistema requiere como fuente de energía las materias primas que componen el alimento y otros recursos medioambientales indispensables para la producción de cerdos. A su vez emite al exterior (sistema cerrado) energía y masa en formas de incremento calórico y de excretas. A este sistema se ha agregado el elemento legislativo como componente importante en los sistemas económicos de producción.

Como se observa en la Figura 1, la producción sustentable de cerdos incluye la integración de procesos que eviten que la entropía (excretas) generada por esta actividad sea dañina para el medioambiente o se desaproveche, ésto se puede lograr mediante sistemas de tratamiento por digestión anaerobia, para transformar esa energía desordenada en energía aprovechable (biogás).

8.1. Apoyo gubernamental para la instalación de biodigestores

La instalación de biodigestores puede resultar onerosa, sin embargo, existen programas gubernamentales que apoyan la instalación de esta tecnología para mitigar la emisión de GEI. Uno de ellos es administrado por la SAGARPA, a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) el cual apoya la promoción y difusión de la energía renovable, mediante el Fomento a Agronegocios (FOMAGRO).

Los objetivos de este subprograma son apoyar a las actividades económicas que: utilicen energías limpias dentro de sus procesos productivos, que induzcan la sustentabilidad de las unidades productivas, que incidan en la disminución de la contaminación ambiental y en la reducción de sus costos de producción. Situación que puede ser lograda por los productores de cerdos.

En 2010, de acuerdo con el Boletín emitido por FIRCO de fecha 26 de noviembre de 2010, este programa apoyó 141 proyectos por un monto autorizado de \$87,915,330.00 en 16 estados de la república (Aguascalientes, Baja California Sur, Campeche, Chihuahua, Colima, Comarca Lagunera, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Yucatán) reduciendo emisiones por el quemado de biogás del orden de 300 mil toneladas de CO₂e, lo que equivale a retirar de la circulación a 137 mil vehículos. Asimismo,

mediante motogeneradores se pueden generar cerca de 8.8 millones anuales de kw-h, equivalente al consumo anual de 2,900 viviendas de interés social.

FIRCO reporta en este boletín que de 2008 a noviembre de 2010, se ha registrado el apoyo a 305 unidades productivas en beneficio de 1,547 productores con una inversión total de 620.2 millones de pesos (mdp), de los cuales 228 mdp corresponden a recursos federales y han generado 1,034 nuevos empleos. En cuanto al potencial de reducción de emisiones se encuentra en el orden de 1.05 millones de toneladas CO₂e, equivalente a retirar de la circulación a 480 mil vehículos (FIRCO, 2011).

8.2. Costos de instalación de un sistema para el aprovechamiento de biogás en una granja porcina

En 2006 FIRCO instrumentó un proyecto para el aprovechamiento de biogás en Convenio con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México en el que se hace una prospectiva de la aplicación de biodigestores a la porcicultura, en dicho proyecto se consideraron escenarios en donde se aprecia la posibilidad de que los productores pudieran invertir en sistemas completos para el aprovechamiento de biogás.

En la Tabla 5 se presentan los resultados del escenario en el que el porcicultor realiza la inversión total del sistema completo de biogás, partiendo del supuesto que recibirá una comisión similar por la venta de bonos de carbono y que aprovecha racionalmente el potencial de energía eléctrica que le es proporcionado por un motogenerador que produce 43,200 Kw/h al mes. El tiempo de recuperación de la inversión se realiza en 3.7 años.

El escenario planteado es a 10 años, estimando el mismo tiempo de vida útil del motogenerador y del biodigestor.

Tabla 5. Resultados de la inversión de un sistema completo para el aprovechamiento de biogás en una unidad porcícola.

Concepto	Año 0	Año 1 al año 10
Egresos Totales	-\$1,964,725.00	-\$80,000.00
Costo del Biodigestor	-\$1,500,000.00	\$0.00
Costo del motogenerador (incluyendo la instalación)	-\$464,725.00	\$0.00
Gastos de mantenimiento del biodigestor	\$0.00	-\$50,000.00
Gastos de mantenimiento del motogenerador	\$0.00	-\$30,000.00
Ingresos Totales	\$0.00	\$616,500.00
Comisión Bonos de Carbono	\$0.00	\$150,000.00
Ahorros Consumo de Energía	\$0.00	\$466,000
Utilidad	\$1,964,725.00	\$536,500.00

SAGARPA. 2007

TIR (Tasa Interna de Retorno)= 24.2%

VAN (Valor Actual Neto) = \$952,338.00

B/C (Relación Beneficio Costo = 2.1

Bajo este supuesto es técnica y económicamente viable el proyecto, sin embargo, hay que hacer notar que en los niveles de ingresos la comisión por venta de bonos de carbono es uno de los componentes importantes.

Los resultados de un escenario similar pero omitiendo los beneficios de la comisión por bonos de carbono se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la inversión de un sistema completo para el aprovechamiento de biogás en una unidad porcícola sin obtener la comisión por bonos de carbono.

Concepto	Año 0	Año 1 al año 10
Egresos Totales	-\$1,964,725.00	-\$80,000.00
Costo del Biodigestor	-\$1,500,000.00	\$0.00
Costo del motogenerador (incluyendo la instalación)	-\$464,725.00	\$0.00
Gastos de mantenimiento del biodigestor	\$0.00	-\$50,000.00
Gastos de mantenimiento del motogenerador	\$0.00	-\$30,000.00
Ingresos Totales	\$0.00	\$466,500.00
Ahorros Consumo de Energía	\$0.00	\$466,000
Utilidad	\$1,964,725.00	\$386,500.00

SAGARPA. 2007

TIR = 14.7%

VAN = \$195,612.00

B/C = 1.5

Los indicadores de la Tabla 6, muestran que sin la comisión por la venta de bonos de carbono el proyecto sigue siendo rentable, no obstante, el acercamiento de la TIR a la tasa de actualización, la B/C cercana al valor de uno, el nivel de la VAN y el que la recuperación de la inversión pueda lograrse en un plazo cercano a los 5 años, son factores que pueden inducir a que los productores se vean desalentados a invertir en este tipo de proyectos.

9. Conclusiones

Apegados a la normatividad ambiental y dadas las características de sus residuales, los porcicultores no están en posibilidades de hacer descargas crudas

a cuerpos receptores. Para que los productores de cerdos puedan descargar sus aguas tienen que tratarlas mediante sistemas caros, pero éstos incrementarían los costos de producción.

Para que la industria porcícola pueda operar dentro de las disposiciones ambientales y de manera rentable, es necesario adaptar las tecnológicas disponibles a esta actividad.

Lo cual es factible mediante el desarrollo de capacidades profesionales que brinde la asistencia técnica especializada a los porcicultores y que permita dar continuidad a los proyectos hasta el reciclaje de los efluentes en los suelos disponibles.

Asimismo, deben divulgarse entre los productores las leyes ambientales y la importancia del control de sus aguas residuales para que no vean en su cumplimiento únicamente la necesidad de cubrir un trámite burocrático. Éste cumplimiento debe de comprenderse como la necesidad de contar con un sistema de tratamiento de residuos eficiente que proteja la calidad de los cuerpos receptores y a la vez optimice, a través del reciclaje en la agricultura, el aprovechamiento de los insumos de producción porcina que no fueron transformados en kilogramos de carne, en el entendido de que la sustentabilidad alimentaria radica en el incremento del rendimiento de los cultivos y no en aumentar la cantidad de tierra y agua empleada para cubrir las necesidades de la población.

De tal manera que se regeneren los lazos en el binomio agrícola-pecuario, que por naturaleza son inseparables, evitando así las descargas porcinas a vertederos naturales.

10. Comentarios Finales.

La existencia de políticas públicas destinadas a regular el comportamiento ambiental de la porcicultura es básica, sin embargo, analizar la eficiencia ambiental de las empresas porcinas desde el cumplimiento de las leyes no sería razonable, ya que la porcicultura es una actividad con características propias.

Una de las situaciones que cabe destacar es el hecho de que la existencia de la normatividad ambiental es fundamental para evitar un impacto grave al medio ambiente por parte de los porcicultores, pero igualmente necesario es que exista un soporte científico o práctico hacia esta actividad por parte del gobierno, en donde también existan soluciones debidamente planteadas hacia su problemática. De lo contrario, únicamente existirá el control, sin ser acorde a las particularidades de la porcicultura o sin brindar alternativas o asesoría para su cumplimiento para que no se vea afectado económicamente el sector, pues se incrementa el costo de producción al internalizar el costo ambiental.

Por lo anterior, es entendible que una gestión correcta medioambientalmente hablando de los residuos generados por la porcicultura sólo se dará con la voluntad y esfuerzo de los colectivos implicados, gobiernos, productores y profesionales en estos campos.

Por lo tanto es elemental que exista un trabajo organizado por parte de los productores, ya que son quienes conocen mejor esta actividad y sus implicaciones y exijan al gobierno recursos con bases técnicas adecuadamente planteadas para aplicar sus estrategias con base en conocimientos, solicitando el *apoyo* en infraestructura para que puedan canalizar todo el efluente de los biodigestores a los terrenos de cultivo en donde hace falta una fertilización adecuada. De esa manera quizá no sea necesario que exista “comando y control” para que se dé un cuidado del ambiente.

Como se hizo notar, la actual producción intensiva de cerdos se ha asociado con fuertes cargas para el ambiente, sin embargo, en este trabajo se plantea que el conflicto de las granjas porcinas con el medio ambiente y su legislación, es factible de resolver partiendo de la visión de que la ganadería y la agricultura interactúan como un binomio por lo que sus sistemas no deben desligarse para obtener beneficios mutuos. De operar ambos sectores de la economía de manera conjunta y dar el tratamiento y destino adecuado a los residuos se puede lograr la reducción de GEI provenientes de la porcicultura acorde con las políticas ambientales del país. Por lo que rectificar el comportamiento de explotaciones de cerdos a modelos en donde el destino de las excretas sea compatible con el medioambiente permitirá la continuidad en la producción nacional de cerdos.

Trabajos citados

- Aguilar, F. X., & Botero, R. 2006. Los beneficios económicos totales de la producción de biogás, utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical* 2 (1), 15-25.
- Arce, V. L., Calderón, M. C., & Tomasini, O. A. (s.f.). Fundamentos Técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales. Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua. Subdirección General de Administración del Agua. Recuperado el 15 de abril de 2011. Disponible en:
http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/Fundamentos_Tecnicos.pdf
- Arvizu, L. O. 2005. Compilación de la Legislación de Interés en Medicina Veterinaria y Zootecnia. México: UNAM.
- Backus, G. 1998. Environmental Impact of Pig Meat Production. *Meat Science*, Vol. 49, Num. 1 , 65-72.
- Barreiro, S. 2009. Influenza Humana: Impacto en el Sector Porcícola. *Desarrollo Porcícola* (113) , 10.
- Cedillo, M. 2008. Impactos Económicos, Ambientales y Sociales Generados por una Granja Porcícola de Producción Industrial en el Valle de Perote Veracruz. México,: Tesis, UNAM.
- Cervantes, F. J., Saldívar, C. J., & Yescas, J. F. 2007. Estrategias para el Aprovechamiento de Desechos Porcinos en la Agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1) , 3-12.
- Cervantes, M. S., Sauer, W. C., Morales, A., Araiza, A., & Yáñez, J. 2008. Manipulación Nutricional del Cerdo para Disminuir la Contaminación Ambiental. En A. M. Animal, XXXVI Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal A.C. (págs. 100-117). N.L., México: Facultad de Agronomía Universidad Autónoma de Nuevo León.
- CIE-UNAM. 2004. Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable para México. Recuperado el 20 de febrero de 2011. Disponible en: http://xml.cie.unam.mx/xml/se/pe/NUEVAS_ENERG_RENOV.pdf
- Coma, J. B. 2004. Producción Ganadera y Contaminación Ambiental. En XX Curso de Especialización FEDNA (págs. 237-272). Barcelona.
- Common, M., & Stagl, S. 2008. Introducción a la Economía Ecológica. Barcelona, Esp.: Reverté.
- CNA. 2010. Manual para el Manejo de Zonas de Riego con Aguas Residuales. México: SEMARNAT.

- Constanza, R. J., & Editors, N. G. 2007. An Introduction to Ecological Economics: Acknowledgments. Washington, D.C.: Cutler J. Cleveland.
- Cornejo, C., & Wilkie, A. C. 2010. Greenhouse Gas Emissions and Biogas Potential from Livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 14 , 256-266.
- CPM. 2011. Confederación de Porcicultores Mexicanos. Recuperado el 23 de Mayo de 2011. Disponible en: <http://www.cmp.org>
- FAO. 2008. Climate Change and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma , 107.
- Figuroa, V. 2008. Criterios para la Selección de Sitios y Determinación de Dosis de Aplicación de Biosólidos. En SAGARPA-INIFAP, Manual para el Aprovechamiento Sustentable de Biosólidos en Suelos Agrícolas y Forestales (págs. 61-71). México.
- FIRCO. 2011. SAGARPA, Fideicomiso de Riesgo Compartido. Recuperado el 20 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.firco.gob.mx/saladeprensa/boletines/Paginas/2010-B0016.aspx>
- INE. (s.f.). Recuperado el 2 de mayo de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, 2011. Disponible en: http://cambio_climatico.ine.gob.mx/descargas/inventario90_02.pdf
- INE. 2010. Recuperado el 20 de Mayo de 2011. Disponible en:
- INEGI. 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 10 de abril de 2011. Disponible en: www.inegi.gob.mx
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Jones, J. K. (s.f.). Escenarios Base 2009-2018, Proyecciones del Sector Agropecuario de México. Recuperado el 23 de mayo de 2011, de SAGARPA: Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/EBespa%C3%B1ol300909.pdf>
- Lansing, S., Martin, J., Botero, R., Nogueira, T., Dias, D. S., & Ederson, D. 2010. Wastewater Transformations and Fertilizer Value when Co-digesting Differing Ratios of Swine Manure and Used Cooking Grease in Low-Cost Digesters. *Biomass and Bioenergy* , 34, 1711-1720.

- Mariscal, L. (s.f.). Tecnologías Disponibles para Reducir el Potencial Contaminante de las Excretas en Granjas Porcícolas. Recuperado el 30 de mayo de 2011, de FAO-INIFAP: Disponible en:
<http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6372S/x6372s08.htm#TopOfPage>
- Méndez, N. R., Castillo, B. E., Vázquez, B. E., Briceño, P. O., & Coronado, P. V. 2009. Estimación del Potencial Contaminante de las Granjas Porcinas y Avícolas del Estado de Yucatán. *Ingeniería* 13 (2) , 13-21.
- Núñez, F., Urrutia, F., Urcelay, S., & Oviedo, P. 1987. Estudio Microbiológico y Parasitológico de Excretas de Cerdo Sometidas a Biodigestión Anaerobia en Laboratorio. *Avances en Ciencias Veterinarias*, 2 (1) , 37-41.
- Olea, P., 2009. Analysis of Sustainability in the Pig Production Chain: Life Cycle Assessment of Contrasting Scenarios, School of Agriculture, Food and Rural Development. Newcastle University.
- Patience, J. P. (s.f.). Swine Nutrition Guide. Material Didáctico para la Asignatura "Nutrición del Cerdo" . México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División del Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia, UNAM.
- Pérez, E. R. 2002. Aspectos Económico Ambientales de la Ganadería en México: La Porcicultura en la Región de la Piedad, Michoacán, México: Tesis, UNAM.
- Pérez, E. R. 2006. Granjas Porcinas y Medio Ambiente, México: Plaza y Valdés.
- Pisciottano, W. 2010. Biodigester Transform Pollutant Gases Into Clean Energy. *Revista Bio Sugar* , 48.
- Popp, A., Lotze-Capmen, H., & Bodirsky, B. (2010). Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. *Global Environmental Change*, 20 , 451-462.
- RAE, R. A. 2001. Diccionario de la Lengua Española. España.
- Ramírez, H. G. (s.f.). Ergomix.com. Recuperado el 29 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/manejo-excretas-porcinas-sistemas-t375/124-p0.htm>
- SAGARPA. (s.f.). Situación Actual y PerspectivaS de la Producción de Carne de Porcino en México 2009. Recuperado el 23 de mayo de 2011, de Disponible en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20osituacin%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/27/sitpor09a.pdf>
- SAGARPA. 2007, Aprovechamiento de Biogás para la Generación de Energía Eléctrica en el Sector Agropecuario. *Claridades Agropecuarias*, 168, 3-40.

- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2008. El avance de la Frontera Agropecuaria y sus Consecuencias. Recuperado el 15 de mayo de 2011. Disponible en:
http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/File/032808_avance_soja.pdf
- SEMARNAT. 2009. El cambio climático en México y el potencial de reducción de emisiones por sectores. México.
- Shimada, A. 2003. Nutrición Animal. México: Trillas.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 20 de mayo de 2011. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- Soria, F. M., Feerra, C. R., Etcheves, B. J., Alcántar, G. G., & Trinidad, S. J. (2001). Producción de Biofertilizantes Mediante Biodigestión de Excreta Líquida de Cerdo. *Terra*, 14 (4) , 353-362.
- Stafford, D. A. 1993. Residuos Ganaderos. Tratamiento de las Deyecciones Líquidas (orines) para la Obtención de Biogás y para Conseguir Posteriormente, un Líquido Fertilizante y Agua de Calidad Fluvial (págs. 150-155). Barcelona: Fundación "La Caixa".
- Stepanhie, L. M., Stepanhie, L., Martin, J., Botero, R., Nogueira, T., & Dias, D. 2010. Wastewater Transformation and Fertilizer Value when Co-Digesting Differing Ratios of Swine Manure and Used Cooking Grease in Low-Cost Digesters. *Biomass and Bioenergy* , 34, 1711-17720.
- Taiganides, E. 1996. Manual para el Manejo y Control de Aguas Residuales y Excretas Porcinas en México. México: Consejo Mexicano de Porcicultura.
- Tinoco, J. 2004. La Porcicultura Mexicana y el TLCAN. México: UNAM.
- UNFCCC. Disponible en: <http://unfccc.int/2860.php>

ANEXO



Figura 2. Biodigestor típico instalado bajo el financiamiento de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) (Cortesía Olea, P.)



Figura 3. Biodigestor y granja porcina, programa AgCert 2006 (Cortesía Olea, P.)

Tabla 2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		Humedales Naturales (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)			
mg/L (excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

A= Ausente

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual:

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.