



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS ACTUALES QUE PROMUEVEN LA
DIFUSIÓN Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES PARA EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LA PORCICULTURA TECNIFICADA EN
MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

MARÍA SALGADO KIM

Asesor:

MVZ. Alejandro Polanco Jaime



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS.

A mi asesor, el MVZ Alejandro Polanco por dejarme desarrollar un tema propio y ser un excelente guía en el proceso.

Al MVZ Luis Fernando Villamar, Director General Adjunto de la Coordinación General de Ganadería de la SAGARPA, por darme las primeras impresiones sobre este tema y por los documentos y datos proporcionados.

A mi tío, el MVZ Carlos Manuel Kim Mun, por que sin su apoyo, aún seguiría realizando encuestas.

Y en general a todo aquel que haya puesto un granito de arena para la realización de esta tesis, le extiendo un caluroso agradecimiento, por que sin ese granito de arena, levantar este castillo hubiera sido mucho más difícil.

DEDICATORIAS.

A mis papás, Guadalupe y Alberto, por que al cierre de este ciclo, me doy cuenta de que su amor y su eterno apoyo han sido la luz que ilumina mi camino y por que con su ejemplo me educaron para ser la persona que soy hoy y de la que me siento orgullosa.

A mis hermanos Gise, Beto y Hugo, por que al ser tan diferentes entre ustedes, me dieron tres ejemplos muy distintos y me enseñaron toda clase de lecciones que me han servido para llegar a donde me encuentro ahora. Gracias por estar siempre para mí y por enseñarme el verdadero valor de la familia.

A mis cuñadas y cuñado: Jenny, Jaime y Mony por integrarse tan perfectamente y hacer crecer el amor en este familión con esos pequeños luceros que me llenan de alegría: Dana, Marifer, Sofi y Emilio.

A mis amigos de toda la carrera: JuanMan, Chiva, Mary, Marina, Omar y Jonathan por que sin ustedes la carrera hubiera quedado incompleta. Llenaron este camino de experiencias agradables, fue un placer recorrerlo con ustedes. ¡Los quiero mucho!

A Lalo por tantas horas de ocio, por siempre estar disponible y por compartir el final de este camino conmigo. Eres un amigo único.

A Maricarmen, Montse y Luz por siempre tener algo de qué platicar (hasta las 3am), por que platicando con ustedes nuestros problemas se ven insignificantes, ¡las quiero niñas!

III

A Fabiola, Gonzo, Shanty, Tania, Pato, Emmanuel Díaz, Emmanuel Garay, Amaury, Princess y demás agregados, por enseñarme que no todo en la facultad era estudiar, sino también celebrar...¡por todo! A todos ustedes también ¡los quiero mucho!

Al equipo de voleibol de la facultad (Klaux, Osa, Yava, Tania, Gisela, Ceci y las que han ido agregándose) por dejarme refugiar en ese hermoso deporte en mis momentos difíciles, por darme la oportunidad de representar a mi facultad y ganar no sólo en el ámbito académico. Y, sobre todo, por darme grandes amigos, especialmente el coach Juan Tovar y Gaby “La Chimbarita”.

Y por último, a Pablo, por ser uno de los más grandes maestros que he tenido en la vida, en todas las situaciones. Por todos los momentos, todas las experiencias que compartimos juntos y todas tus enseñanzas que me hicieron crecer y evolucionar.

Todos han sido un pilar importante en mi vida, por eso les dedico este trabajo en el que puse todo mi esfuerzo y dedicación, como un agradecimiento a todo lo que han aportado a mi experiencia. Cada uno de ustedes es una bendición para mi y agradezco a la vida por haberlos puesto en mi camino.

María

“Todo lo que somos es fruto de lo que pensamos”

Buda

CONTENIDO.

	PÁGINA
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Objetivos.....	13
3. REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	15
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	16
4.1. Situación actual en México y el mundo.....	16
4.2. Tecnologías existentes.....	25
4.3. Análisis de las ofertas existentes de tecnologías.....	47
4.4. Análisis de los instrumentos gubernamentales y los incentivos internacionales.....	56
4.5. Análisis de la experiencia de los productores.....	70
5. CONCLUSIONES.....	90
6. RECOMENDACIONES.....	96
7. BIBLIOGRAFÍA.....	98
8. ANEXOS.....	106

1. RESUMEN.

SALGADO KIM MARÍA. Análisis de los mecanismos actuales que promueven la difusión y aplicación de tecnologías ambientales para el tratamiento de efluentes en la porcicultura tecnificada en México (bajo la dirección del MVZ, PhD. Alejandro Polanco Jaime)

Esta tesis tiene como objetivo principal analizar la situación en la que se encuentra un sector de la porcicultura mexicana en relación a la implementación de tecnologías limpias para el manejo de las aguas residuales de granjas porcinas, así como también de los mecanismos gubernamentales y de la iniciativa privada con que cuentan los poricultores tecnificados y semi-tecnificados actualmente en el país para informarse y adoptar estas tecnologías en sus unidades productivas, con la finalidad de determinar si éstas son adecuadas y, en su caso, sugerir modificaciones. Esto se logró mediante la revisión bibliográfica de los antecedentes del problema así como de las tecnologías disponibles para su abordaje, la consulta con las empresas sobre los costos y descripción técnica de dichas tecnologías, la entrevista a los funcionarios públicos responsables de los programas vigentes y la realización de encuestas a Médicos Veterinarios encargados de granjas y productores sobre el manejo de sus efluentes. Se concluye que, aunque se están realizando esfuerzos para mitigar los efectos ambientales dañinos que ocasionan las producciones de cerdo en el país, éstos no son suficientes, por lo que el problema se ha solucionado en una proporción muy baja, por lo que se deben hacer modificaciones a los programas públicos para generar un mayor impacto en el mejoramiento ambiental.

2. INTRODUCCIÓN.

En México, la producción de carne de cerdo ha ocupado constantemente el tercer puesto de importancia, después de la producción de carne de pollo y res. Sin embargo, a pesar de no ser la principal actividad pecuaria del país, en los últimos años se ha registrado un ligero incremento (Tasa Media de Crecimiento Anual –TMCA- de 1.91%), que se traduce en un aumento en el número y el tamaño de las unidades productivas¹. El Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reporta para el periodo 2004 – 2008, que la población porcícola ha oscilado en un rango de 14.5 a 15.5 millones de cabezas a nivel nacional. El volumen de producción porcícola en el año de 2008 fue de 1,160,667 toneladas.²

Cerca del 50% del total de la población porcina se concentra en cinco entidades federativas (Jalisco, Sonora, Puebla, Veracruz y Guanajuato); Jalisco y Sonora son las entidades más importantes con una participación en el inventario de 16% y 10% respectivamente y caracterizándose sus sistemas productivos por ser tecnificados o semi-tecnificados.²

Un estudio representativo sobre el grado de tecnificación realizado en el año de 2005, en 61 granjas de ciclo completo de cuatro estados de la República, que en ese año concentraban el 36.7% de la población porcina, arrojó la siguiente clasificación: altamente tecnificadas 31.15%; semi-tecnificadas 29.51%; escasamente tecnificadas 39.34%. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron: fertilidad, lechones nacidos vivos, lechones

destetados al año por cerda, bioseguridad, número de animales al mercado anuales por cerda ³. No existe hasta ahora un estudio de este tipo que comprenda todo el país, sin embargo no resulta aventurado extrapolar este escenario a la situación nacional, al afirmar que los sistemas de escasa tecnificación son los que predominan.

Como se ha venido reconociendo de manera creciente, las producciones animales en general provocan un impacto negativo en su entorno, degradando la tierra y contaminando el agua, al mismo tiempo que liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera. Este tema, en los últimos años, se ha vuelto de gran interés para los gobiernos y sociedad con respecto al cambio climático global en ciernes y cuyos efectos son evidentes, por ejemplo en los cambios en los patrones de lluvias y otros eventos meteorológicos ⁴. La contaminación del agua también es un factor de impacto importante, pues el volumen de estiércol y aguas residuales de las granjas más grandes es comparable con la generación de aguas residuales de una ciudad de tamaño considerable. Por ejemplo, un estudio estimó que una granja en Utah que está planeada para producir 2.5 millones de cerdos anualmente, tiene un potencial de generación de residuos mayor que el de toda la ciudad de Los Ángeles ⁶. Y no se puede perder de vista el hecho de que, aunque a mayor número de cerdos crece la capacidad contaminante de una granja, en México, éste tipo de granjas gigantes no representan ni el 1% del total de unidades productivas, no obstante si se considera que el total de granjas en el país es de alrededor de 1,700,000, el impacto conjunto sobre los ecosistemas puede ser enorme.²⁶

El aumento de la demanda de carne de cerdo (generalmente más barata que la de bovino) trae consigo el aumento de la densidad de población en las granjas, así como también el aumento en el número de unidades productivas, lo que promueve el deterioro ambiental de las zonas en las que se instalan ⁴.

La porcicultura es una de las actividades pecuarias más agresivas con el ambiente, pues sus desechos sólidos contienen cantidades de nitrógeno (N) y fósforo (P) muy elevadas y éstos compuestos contribuyen principalmente en el fenómeno de eutrofización del agua. La eutrofización se refiere a una excesiva concentración de nutrientes en un ecosistema o en un ambiente dado. Si bien la carencia de nitrógeno y fósforo son limitantes del crecimiento de la biomasa, su exceso conduce a una anormal proliferación de algas y plantas acuáticas que se traduce en un desbalance biológico en los cuerpos de agua, que afecta finalmente al ecosistema acuático reduciendo su biodiversidad. Es por ello que el uso de los sólidos de los efluentes porcinos en la agricultura está limitado, pues las grandes cantidades de N y P que contienen, en lugar de ser beneficiosos para el suelo, se convierten en contaminantes de los mantos freáticos. Además, el N tiene un efecto acumulable en el suelo, por lo que la aplicación al suelo de este fertilizante en sucesivos ciclos eleva la concentración de N, provocando el ya mencionado fenómeno de eutrofización, así como también la acidificación de suelos y aguas, que resulta de la reacción ácida de compuestos como el amoníaco, óxidos de nitrógeno y compuestos azufrados con el agua, lo que produce una variación en el pH del suelo o el cuerpo de agua, afectando al ecosistema acuático o a la vegetación ⁵. A esto se

debe sumar el hecho de que la porcicultura no se encuentra integrada con la agricultura, por lo que transportar el estiércol de zonas en las que abunda a zonas en las que se necesita tiene costos demasiado altos, mismos que la mayoría de los productores no están dispuestos a cubrir ⁶.

Además del problema con la fracción sólida y líquida de los efluentes porcinos, se tiene el problema de los gases que generan y que contribuyen mediante el efecto de invernadero al cambio climático global, motivo de preocupación tanto de países altamente industrializados como de los países en vías de desarrollo. El principal gas que se acumula en las producciones porcinas es el amoníaco (NH_3), que representa un peligro de salud tanto para los animales como para el personal de la granja, pues es altamente irritante. Es importante señalar que también se liberan otros gases como el sulfuro de hidrógeno (SH_2), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y el óxido nitroso (N_2O). Cada uno de estos gases tiene una capacidad contaminante diferente y sus efectos en el ambiente son diversos⁴.

Los impactos negativos en el ambiente que ha ocasionado la porcicultura en el país son resultado del modelo intensivo de producción utilizado y de su amplia difusión el cual se caracteriza por los siguientes rasgos:

- Es altamente especializado, sin embargo se integra de manera limitada y poco eficiente con la agricultura.
- Un gran número de animales se concentra en pocas unidades productivas, lo que potencializa la capacidad contaminante de un solo sitio.

- Un número importante de unidades productivas se concentra en las zonas urbanas y periurbanas.
- La alimentación rica en proteínas es poco aprovechada por los animales, aumentando así la cantidad de nitrógeno que se elimina en las heces y orina de los cerdos.
- Falta de capacitación del personal para el manejo de los residuos.
- Relativo interés en disminuir su impacto ambiental y en asegurar el bienestar animal.⁵

A esta problemática debemos agregar el hecho de que los productores no han sido correctamente informados sobre el tema. No conocen las tecnologías para tratar los efluentes de la granja, ni la legislación ambiental y normas vigentes, por lo que consideran el manejo correcto de residuos como un gasto innecesario más que un beneficio. A este desconocimiento se agrega el hecho de que las tecnologías en cuestión son caras y los apoyos gubernamentales son escasos y su operación poco clara ⁵.

Debido a la alta capacidad contaminante de las producciones animales se han creado legislaciones nacionales, a partir de acuerdos internacionales, con la finalidad de que se reduzcan las emisiones contaminantes y que además se le puedan dar otros usos a los desechos animales, que le permitan a los productores agregar valor a su actividad productiva. En México, existen 3 normas vigentes que regulan las descargas de aguas residuales. Dos de ellas tienen aplicación en las producciones porcinas: la NOM-001-ECOL-1996 que establece los parámetros de descargas de aguas residuales en las aguas y

bienes nacionales, y la NOM-002-ECOL-1996, que establece estos parámetros para la descarga de aguas residuales al alcantarillado urbano y municipal. Ambas normas son las que se han aplicado a las producciones pecuarias, sin embargo, aún no existen las reglamentaciones técnicas específicas para las descargas de las unidades de producción animal en corrientes de agua ⁵. Además, desgraciadamente, la legislación y normatividad del tratamiento de efluentes no es garantía de que se cumplan las condiciones en todas las producciones del país, por lo que se están haciendo esfuerzos en las instancias públicas para instalar en las granjas y ranchos más grandes del país tecnologías ambientales ¹. Las autoridades de la SAGARPA han puesto en marcha desde principios de este siglo un programa para promover la adquisición de biodigestores para el tratamiento de las excretas de porcinos y bovinos productores de leche ¹. Existen también otros tratamientos de efluentes, como las lagunas de oxidación o estabilización, en las que, previa separación de sólidos, los líquidos se almacenan en una laguna en donde suceden varios eventos del metabolismo bacteriano que permiten que el agua residual de estos tratamientos sea utilizada para riego de los campos agrícolas ⁷.

2.1. Antecedentes.

En México, en las últimas décadas, por los patrones de crecimiento de la porcicultura podemos distinguir dos etapas. La primera dura 11 años y comprende el periodo de 1972 a 1983; y la segunda que abarca del año 1984 a

la fecha. Durante la primera etapa de la porcicultura se puede observar una notable expansión de la industria, presentando las tasas de crecimiento más altas de la industria pecuaria. Los inventarios incrementaron 3.9% cada año en promedio, pasando de 10 millones en 1972 a 15.3 millones en 1983. La producción de carne, por ende, también aumentó a una tasa promedio anual de 9%, de 573,000 toneladas en 1972 a 1,086,000 toneladas en 1983. Esta expansión se generó principalmente en el sector más tecnificado y logró que el consumo *per cápita* se elevara de 11.2 Kg. en 1972 a casi 21 Kg. en 1983 ¹¹.

Las razones por las que la porcicultura mexicana tuvo condiciones óptimas para su crecimiento fueron las siguientes:

- No necesita de grandes extensiones de tierra, recurso que en México se encuentra constantemente en pugna.
- El crecimiento económico general de la sociedad en los años '50s y '60s promovió un aumento en el consumo de productos de origen animal.
- Existía una dependencia de la SAGARPA que subsidiaba el sorgo, principal fuente de alimento de los cerdos, absorbiendo los fletes, almacenamiento y financiamiento.
- Prácticamente no existía la importación de carne de cerdo, pues el mercado estaba protegido por permisos previos y altos aranceles ¹¹.

A partir de 1984, este escenario favorable cambia y la producción se estanca, desde 1985 se registra una fuerte contracción de la actividad que

termina en 1989, iniciándose entonces un crecimiento lento de la industria que, sin embargo, no puede ser considerado como una franca recuperación¹¹.

Actualmente la porcicultura presenta algunos fenómenos que podrían parecer contradictorios, pero que reflejan, principalmente, la política económica que el Gobierno Federal ha seguido en los últimos años. La apertura comercial resultante del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se tradujo en la entrada masiva de productos porcícolas estadounidenses subsidiados a precios mucho más bajos, desplazando la producción mexicana y perjudicando a muchos medianos y pequeños poricultores. Además, la altísima dependencia comercial de los Estados Unidos (90% del comercio exterior se realiza con dicho país) nos hace vulnerables en la presente crisis económica financiera mundial que amenaza con agravarse y desembocar en una etapa de franca recesión¹.

Como resultado de esta crisis global se registran aumentos en los insumos de producción, principalmente en los granos base de la alimentación porcina. Es importante señalar que la alimentación representa más del 60% de los costos de producción animal, por lo que los aumentos a los insumos de este rubro provocan graves consecuencias en la economía de los productores, sobre todo del estrato tecnificado no integrado, que presentó las pérdidas más significativas y el cierre de sus producciones. Los productores en el estrato semi-tecnificado, que abastece principalmente los pequeños mercados locales fuera de los circuitos comerciales formales, pudieron obtener incrementos en los precios, que les proveían de ingresos, pero que implicaron su descapitalización. Sin embargo, los productores tecnificados integrados y las grandes empresas transnacionales que establecieron sus producciones en

México, a pesar de haber observado una disminución de sus utilidades, no presentaron pérdidas ni descapitalización, esto debido a su eficiencia productiva y a la apropiación del valor agregado de la comercialización y transformación del ganado ¹.

Lo anterior trajo como consecuencia que, las granjas que prevalecen en el país y las que siguen creciendo a pesar de las crisis económicas, son las granjas más tecnificadas, que tienen mayor número de animales en confinamiento y que, por lo tanto, deberían ser las más contaminantes. Sin embargo, al ser las producciones más tecnificadas las que logran las mayores ganancias económicas, es de esperarse que también sean las que inviertan sus utilidades en tecnologías ambientales que, además de prevenir la contaminación de los ecosistemas en los que se establecen, les generen otros beneficios económicos. Por lo que se tienen granjas tecnificadas, con un alto número de animales, que contaminan menos que otras granjas con menos nivel tecnológico y menos animales.

En el año de 1989 la actividad porcícola presenta un ligero repunte como consecuencia de la creación de los proyectos altamente tecnificados, que funcionan con el sistema de “tres sitios” y los cuales tienen integrado a su sistema productivo el tratamiento de aguas residuales y excretas ¹⁰. El sistema de “tres sitios” consiste en que la cría del cerdo se realiza en granjas con ubicaciones geográficas diferentes dependiendo de la etapa de producción en la que se encuentren los animales. En 1979, se constató que si los cerdos que son criados naturalmente, al momento del destete se les traslada a otra granja, se pueden prevenir algunas enfermedades causadas por agentes infecciosos que se transmiten de los animales adultos a los jóvenes, además de que el

control de enfermedades se vuelve mucho más sencillo, sobre todo en aquellas en las que se requiere de una repoblación total de la granja. En 1987 surge la idea en los Estados Unidos de reconstruir las granjas de cerdos para poder tener las tres etapas de producción (maternidad, destete y engorda) en tres sitios diferentes, dando lugar a este sistema de producción ¹⁴.

En general, se puede decir que el problema ambiental de la porcicultura en México se debe, principalmente, a dos procesos que se han dado en los últimos 30 años: por un lado, el desarrollo de la porcicultura altamente tecnificada con grandes concentraciones animales y el enorme crecimiento de la población humana y, por el otro la expansión de las áreas urbanas que absorbieron zonas con infraestructura agrícola ¹¹.

En México existen muchos problemas de la porcicultura relacionados con el medio ambiente, entre los principales se encuentra la falta de una norma específica y obligatoria que regule las descargas de aguas residuales de producciones animales, el desconocimiento de la reglamentación existente, la reticencia de los productores a invertir en tecnologías ambientales, la falta de educación en materia ambiental de la población en general, la excesiva politización de los problemas ambientales, la intervención de varias dependencias gubernamentales en materia ambiental, entre otros. ¹¹

La primera ley ambiental mexicana es la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental y es publicada en 1971; dos años después se publica el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, que se encuentra vigente hasta 1994, fecha en que entra en vigor el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Sin embargo, a

falta de una presión social real, por mucho tiempo no hubo ninguna observancia al cumplimiento de estas normativas, e incluso fueron, con frecuencia, ignoradas por las autoridades locales, quienes disponían de las aguas residuales de forma dañina al medio ambiente ¹¹.

Actualmente estos problemas son más notorios y, por lo tanto, atraen más la atención de la sociedad en general. Incluso durante el sexenio que comprendió del año 2000 al 2006 se le consideró como un asunto de seguridad nacional; se estima que tres cuartas partes de las aguas superficiales del país tienen algún grado de contaminación ¹².

Por esta razón es que, en los últimos años, se ha incrementado la preocupación por el tratamiento de las descargas residuales de las granjas porcinas (que en lo sucesivo se mencionarán como “efluentes”). Al respecto se han generado numerosas investigaciones y desarrollos tecnológicos sobre las mejores formas de tratamiento de efluentes e igualmente se han diseñado programas con la finalidad de reducir los impactos ambientales de esta actividad pecuaria a través de la puesta en marcha de diversos equipos, en numerosos países. Los efectos de la ganadería en el medio ambiente fueron el tema para la realización de la Conferencia Internacional sobre Ganadería y Medio Ambiente en 1997 en los Países Bajos, organizada por el Banco Mundial, la FAO y el Centro Internacional para la Agricultura de la Universidad de Wageningen. Similarmente, en mayo de 1998, en Brasil, la FAO convocó a expertos para consultarlos sobre políticas de producción pecuaria y ordenación de los recursos naturales en América Latina y el Caribe¹³.

En México, a partir de la segunda mitad de la década de los ochenta y principios de los noventa, se registraron numerosos trabajos relacionados con el tratamiento de desechos de las granjas porcinas. Estos incluyeron proyectos conjuntos entre diversas instituciones sobre la contaminación del agua, los tratamientos posibles y los usos que podían darle a los desechos tratados. Un ejemplo de éstos es el trabajo realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, quienes propusieron el uso de biodigestores para la producción de biogás, para el tratamiento de los efluentes en granjas porcícolas de pequeña escala en los estados de Tlaxcala, Morelos y Veracruz; desgraciadamente estos proyectos aislados no han tenido la necesaria continuidad¹³.

2.2. *Objetivos.*

2.2.1. Objetivo general

El objetivo de la presente tesis es analizar la situación en la que se encuentra el sector tecnificado y semi-tecnificado de la porcicultura en México en relación a la implementación de tecnologías limpias para el manejo de las aguas residuales de las granjas porcinas, así como también los mecanismos gubernamentales y de la iniciativa privada con que cuentan estos porcicultores actualmente en algunos estados del país para informarse y adoptar estas tecnologías sustentables en sus unidades productivas, con la finalidad de determinar si éstas son adecuadas y, en su caso, sugerir modificaciones para su mejora.

2.2.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la situación actual mundial y de algunos estados del país en relación a la contaminación ambiental causada por la producción intensiva de cerdo. Las repercusiones de dicha producción en aire, agua y suelo y las medidas que se han tomado internacionalmente para la solución de estos problemas.
- b) Investigar en qué consiste la normativa nacional en relación al tratamiento de efluentes porcinos.
- c) Conocer el mercado de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en las empresas pecuarias, sus características técnicas, precios y disponibilidad, así como también hacer un análisis de las empresas que las distribuyen.
- d) Analizar las políticas y los programas del gobierno federal relevantes con las que se cuenta actualmente para la solución de los problemas ambientales ocasionados por la porcicultura, así como los instrumentos que utilizan para la promoción de las tecnologías medioambientales entre los porcicultores.
- e) Describir y analizar los mecanismos internacionales que incentivan la aplicación de tecnologías limpias en las actividades pecuarias.
- f) Conocer cuáles son los obstáculos (financieros, tecnológicos, culturales) que impiden la amplia adopción de estas tecnologías ambientales para el manejo de efluentes en la porcicultura mexicana.

- g) Proponer, en su caso, acciones que permitan mejorar el conjunto de instrumentos del gobierno federal para mitigar el deterioro ambiental ocasionado por los efluentes porcinos.

3. REVISIÓN SISTEMÁTICA

La metodología a seguir considera las siguientes fases:

- a) Recopilación de información sobre la situación actual en México y el mundo con relación a la contaminación ambiental generada por la porcicultura y las medidas que se han tomado para contrarrestarla.
- b) Recopilación de información secundaria a partir de revistas científicas y tecnológicas sobre las tecnologías objeto del presente estudio;
- c) Recopilación y análisis de la normativa mexicana en la materia, así como de los acuerdos internacionales que comprometen a México en la reducción de gases;
- d) Recopilación sobre políticas e instrumentos del Gobierno Federal para promover la adopción de las tecnologías en cuestión. Entre los instrumentos destaca el crédito refaccionario por parte de FIRCO y SAGARPA;
- e) Recopilación de información sobre la operación de los bonos internacionales que incentivan la reducción de las emisiones de dióxido de carbono;
- f) Mapeo de empresas y de grupos de consultores;

- g) Desarrollo de encuestas y entrevistas semiestructuradas para funcionarios, empresarios, consultores y productores, tanto los que han instalado alguna tecnología en sus producciones, como los que aún no.
- h) Análisis estadístico descriptivo de las encuestas y entrevistas realizadas para caracterizar los programas gubernamentales en curso.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

4.1. Situación actual en México y el Mundo

Hoy en día nuestro planeta experimenta diversos cambios en su conformación debidos, en gran parte, a la actividad humana que se desarrolla en él. El hombre ha jugado un papel, se podría decir de depredador dentro de los ecosistemas marítimos y terrestres, de modo que somos testigos de procesos de deforestación, desertificación, contaminación del agua y el calentamiento global. El rápido incremento en la población, que hoy alcanza los 7 mil millones de personas, ha provocado que todas estas actividades se masifiquen, y que sus efectos nocivos crezcan a ritmos elevados.

4.1.1. Aire

Últimamente entre todos los problemas que ocasiona la actividad humana, el que ha llamado más la atención entre los científicos, pueblo y gobernantes es el calentamiento global. Este es un fenómeno que ocurre por la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. Se sabe

que de los inicios del siglo XVII a la fecha, la temperatura de la Tierra ha aumentado casi 1° C debido a este fenómeno.¹⁵

La irradiación solar que llega a la Tierra se refleja de regreso a la atmósfera, en donde el calor es absorbido por los GEI (Gases de Efecto Invernadero), que de manera natural se encuentran ahí, promoviendo que se guarde un equilibrio en la temperatura de la Tierra. Sin embargo, un aumento en los GEI provoca un aumento en la absorción de calor en la atmósfera, propiciando el aumento en la temperatura terrestre. Los GEI se emiten naturalmente por los procesos biológicos normales que se llevan a cabo en el planeta, sin embargo, las actividades humanas han dado como resultado hoy en día un aumento en las concentraciones de CO₂ y CH₄, sin precedentes en los últimos 650,000 años de la Tierra.¹⁵

El calentamiento global, trae consigo diversos cambios en los patrones del clima, como son: aumento en las precipitaciones globales, cambios en la severidad o frecuencia de eventos climáticos severos (tormentas, inundaciones y sequías), aumento en los niveles del mar por derretimiento de los casquetes polares, lo que provoca un aumento en la intensidad de los huracanes, etc. Todo esto impacta directamente en la vida de los seres vivos en el planeta, incluyendo a los humanos, quienes ya comenzamos a vivir las consecuencias de este calentamiento global directamente con las sequías e inundaciones que están provocando la pérdida de cosechas y otras actividades productivas^{15,16}.

Aunque el sector industrial y el de transporte han sido el principal foco de atención en relación a la emisión de gases GEI y el calentamiento global, en estudios recientes se ha demostrado que el sector agropecuario contribuye en

la emisión de estos GEI tan significativamente que pueden llegar a sobrepasar las que produce el sector de transporte ¹⁶.

Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), siendo el CO₂ el más estudiado y el punto de referencia para calcular el calentamiento global. Aunque el sector agropecuario no contribuye directamente con una emisión de CO₂ considerable, emite importantes cantidades de CH₄ y N₂O que no deben ser menospreciadas, pues, en términos de calentamiento global, éstos son más potentes que el CO₂. Para medir el impacto que tiene cada gas en la atmósfera, se utiliza una medida llamada Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés), que calcula el potencial de estos gases de absorber la radiación de calor y en la cual el CO₂, por ser el gas de referencia, tiene un valor de 1. Así tenemos que el CH₄ tiene un GWP de 23 y el N₂O de 296. Además de que ambos gases permanecen más tiempo que el CO₂ en la atmósfera: el CH₄ de 9 a 15 años y el N₂O hasta 114 años ¹⁶. Por lo tanto se puede decir que aunque el sector agropecuario no es el más importante emisor de GEI (directamente), los gases que emite son los más nocivos y por lo tanto su emisión debe ser regulada.

Concomitante al aumento de la población mundial, ha crecido también la necesidad de fuentes proteicas de origen animal, por lo que la producción animal ha aumentado también considerablemente. Según la FAO en la actualidad se crían y sacrifican 56 mil millones de animales mundialmente para el consumo humano. Por esta misma razón de crecimiento acelerado, se ha tenido que optar por modelos de producción intensivos, que promuevan el crecimiento acelerado de los animales en espacios cada vez más pequeños,

hecho que incrementa la emisión de CH₄, debido a la concentración de los animales y sus excretas.¹⁶

Especialmente en Latinoamérica se tiende a favorecer los sistemas intensivos sobre otros más sustentables y que promuevan o faciliten el bienestar animal. Estudios del año 2007 revelan que los sistemas de producción intensivos alrededor del mundo se han incrementado al doble que los sistemas (estabulación y pastoreo) y 6 veces más que los sistemas de pastoreo o extensivos.¹⁶

Además de las emisiones de CO₂ directas que representa el sector pecuario por el uso de maquinaria, energía eléctrica y transportación, la ganadería es la responsable del 35-40% de las emisiones anuales de CH₄ por fermentación entérica (rumiantes) y por las excretas de los animales. De esta forma el ganado es la fuente más importante de emisiones antropogénicas de CH₄ globalmente. Las emisiones de este gas por descomposición anaeróbica de las excretas se estiman sobre los 10 millones de toneladas, que equivalen al 4% de la producción global de metano, de las cuales, cerca de la mitad es producida por las excretas de los cerdos.^{15,16}

En Estados Unidos, únicamente, las emisiones de metano provenientes del excremento de los cerdos, aumentaron 37% entre los años 1990 y 2005, esto debido principalmente al cambio en intensidad de las producciones, que ahora manejan el excremento en forma líquida, lo que promueve la formación de este gas.¹⁶

De acuerdo al inventario de GEI de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en 1996 la emisión de los principales GEI a

nivel nacional, en Equivalentes de bióxido de carbono (CO₂) fue de 691,318 Gg (unidad de medida de masa equivalente a 109 gramos empleada para las emisiones de GEI), de los cuales 74% corresponden a CO₂, 24% a metano y 2% a óxido nitroso. El sector agropecuario aporta el 8.1% de estas emisiones (55,674 Gg) y del total de sus emisiones el metano representa el 82%, haciendo un hincapié en el hecho de que el metano es 21 veces más contaminante que el CO₂. Del total de las emisiones de GEI del sector agropecuario, la fermentación entérica y la fermentación anaeróbica de las excretas se estiman en un equivalente de CO₂ de 2,123 Gg, representando el 3.1% de las emisiones agropecuarias.²⁰

En el 2008 se reportó que la participación del sector porcícola en la generación de GEI fue de 124, 903, 899 ton de equivalentes de CO₂ por año.²¹

4.1.2. Agua.

Además de su impacto en el calentamiento global, la producción porcina también contribuye de manera importante en otro fenómeno de contaminación ambiental, que quizás, sea más urgente mitigar: la contaminación del agua.

A nivel mundial, el agua es un recurso vital que para muchas poblaciones está muy limitado y para otras resulta abundante. El cambio climático también ha propiciado que el recurso se vaya limitando en algunas zonas, mientras que en otras las precipitaciones son muy abundantes. Además de la distribución heterogénea del agua en el mundo, las actividades humanas también han reducido la disponibilidad de ésta, pues los cuerpos de agua son contaminados muchas veces dejándolos inutilizables para consumo. Además de su contaminación, puede provocar serios problemas con los ecosistemas a

los que se encuentra asociado. Para poder medir la disponibilidad de agua se utiliza un término llamado “estrés hídrico” que determina el desbalance que existe entre el uso del agua y las fuentes disponibles para ese uso. Es una relación de la extracción de agua con respecto a las fuentes renovables que existen y determina el deterioro de las fuentes de agua dulce tanto en calidad como en cantidad.

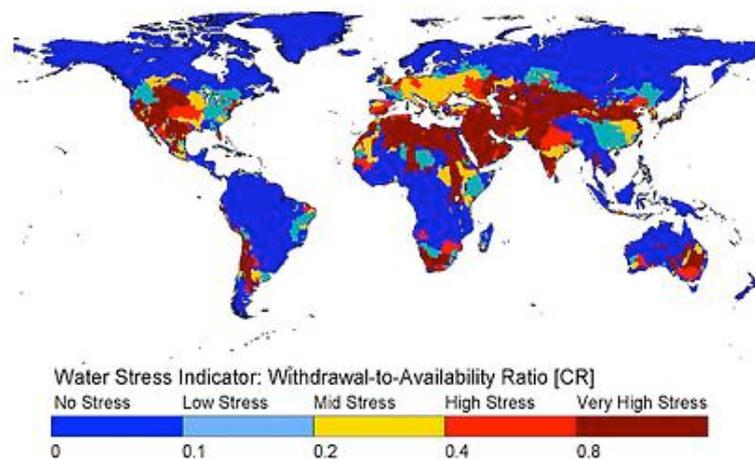


Fig. 1. Indicadores de estrés hídrico mundial: Proporción extracción-disponibilidad.

En el mapa (Fig. 1) se muestran los diferentes niveles de estrés hídrico que se registraron en el planeta en el año de 2010 y podemos observar que en México existían entonces altos niveles de estrés hídrico en casi todo el territorio nacional, salvo la región del sureste y la Península de Yucatán.¹⁷

Las actividades agrícolas son importantes fuentes de contaminación de los cuerpos de agua superficiales y de los mantos freáticos, sobre todo por nitratos, que contienen los fertilizantes artificiales y aún los naturales (estiércol). En California se identifica a la agricultura y a la ganadería como la mayor

fuente de contaminación con nitratos, siendo responsables de la alteración de casi 260,000 km² de mantos freáticos.¹⁸

En 2001, en Oklahoma, Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) emitió una orden de emergencia para que una gran empresa productora de cerdos proveyera a la población del lugar donde se encontraba, con agua potable, después de que dicha empresa contaminara las fuentes de este recurso disponibles, haciéndolas inutilizables para el uso doméstico.¹⁸

La contaminación de los cuerpos de agua que abastecen a los asentamientos humanos con desechos de las granjas, también supone un riesgo para la salud pública, pues en las excretas de los animales se concentran muchos microorganismos que pueden ser patógenos para el hombre u otros animales de los ecosistemas relacionados, provocando enfermedades principalmente digestivas. Además, en 1996, el Centro para el Control de Enfermedades de Estados Unidos (CDC, por sus siglas en inglés), encontró una relación entre los niveles elevados de nitratos en el agua potable y la incidencia de abortos, en mujeres de una población en Indiana que se encontraba cercana a corrales de engorda ¹⁸.

Estudios recientes revelan que, en Estados Unidos, se han cerrado más fuentes de agua potable públicas por rebasar los estándares permitidos para nitratos que por cualquier otro contaminante. Las autoridades en dicho país prefieren cerrar los pozos, pues los tratamientos para denitrificarlos son muy costosos ¹⁹.

Otro problema que causa la contaminación por nitrógeno y fósforo es la eutrofización antes mencionada, que ha provocado la creación de una Zona Muerta en el Golfo de México, pues el alto crecimiento de algas por el ambiente rico en éstos compuestos, ha provocado que se termine el oxígeno y con él las demás formas de vida dependientes de este elemento. El área fluctúa en tamaño cada año, sin embargo se han registrado extensiones de más de 22,000 km² de zona sin biodiversidad, ocasionando muchos desbalances en el ecosistema marino.¹⁸

Los tratamientos anaeróbicos de efluentes pueden ser un buen método para evitar la contaminación de los mantos freáticos con nitratos, pues en un ambiente carente de oxígeno se evita la transformación del nitrógeno orgánico a nitratos.¹⁹

En el caso de México, podemos decir que se trata de un país pobre en recursos hídricos. Su precipitación pluvial promedio es de 700 a 770 mm/año, con rangos que van de 90 a 1800 mm/año, lo que nos habla de una distribución muy heterogénea del recurso. México posee sólo el 0.1% del agua dulce que hay en el planeta y de ese porcentaje, sólo el 5% del agua está por encima de la cota de los 2000 metros de altitud, nivel en el que se localiza un tercio de la población y dos tercios de la producción industrial manufacturera, incluyendo las producciones porcinas. En el centro del país se registra una sobreexplotación del agua del subsuelo; en estados como Querétaro y Guanajuato la situación es crítica y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas puede calificarse como grave. En el caso de la península de Yucatán, los suelos son calcáreos y tiene una pendiente topográfica nula, lo que provoca que toda el agua de la lluvia se filtre a subsuelo, careciendo de

aguas superficiales, lo que hace a los acuíferos de esta región sumamente vulnerables a la contaminación.¹³

4.1.3. La porcicultura.

En el país sólo se han realizado dos estudios que revelan la situación ambiental de la porcicultura. El primero de ellos^a consistió en la aplicación de encuestas a los productores porcinos para diseñar un programa general de alcance nacional sobre las prácticas de manejo en las granjas porcinas medianas y grandes. El segundo estudio^b corresponde a un trabajo académico circunscrito al estado de Yucatán, cuyo objetivo fue estudiar los aspectos económico-ambientales de los desechos porcinos. De estos dos trabajos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los porcicultores ignoran la cantidad de agua que utilizan en sus granjas debido a la gratuidad del recurso para las actividades agropecuarias. Esto hace que el uso del recurso sea muy ineficiente y la instalación de sistemas de tratamiento escasamente atractivo.
- El 38% de las granjas encuestadas en el momento del estudio descargaban sus aguas residuales en un cuerpo receptor (río, arrollo, lago) y prácticamente ninguna pagaba los derechos correspondientes.
- El 76% de las granjas contaban con algún sistema de tratamiento de aguas residuales, principalmente un cárcamo y lagunas de

^a Taiganides, EP; Pérez, R; Girón E. *Manual para el manejo y control de aguas residuales porcinas en México*. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM, México. 1996.

^b Drucker, A; Gómez, V; Magaña, S. *¿La elaboración de incentivos adecuados?: una evaluación de la legislación ambiental relevante a los desechos porcícolas en Yucatán, México*. Investigación Ecológica. UNAM, México. 1998.

estabilización, sin embargo las dimensiones de éstos no eran las correctas para el tamaño de la granja ²⁰.

Los sistemas de producción porcina tecnificados y semi-tecnificados son de enorme importancia en la contaminación ambiental, pues entre ellos concentran más del 50% de la población porcícola total del país, por lo que su capacidad contaminante es mayor que la de los sistemas de traspatio. Por la razón de su mayor tamaño y resultados económicos, son producciones que pueden adquirir más fácilmente una tecnología para el manejo de sus efluentes, ya sea por su cuenta o con apoyo financiero gubernamental ²⁶.

No obstante, no se debe perder de vista que también las producciones poco tecnificadas, que no realizan un adecuado manejo de excretas también participan de manera significativa en la contaminación de la tierra, aire y agua y que se deben establecer programas que incluyan a dichas granjas si se pretende tener un mayor cuidado ambiental.

4.2. *Tecnologías existentes.*

Los tratamientos para aguas residuales se dividen en primarios, secundarios y terciarios. Los tratamientos primarios se refieren a aquellos en los que se remueven las partículas más grandes mediante métodos físicos, como cribas, rejillas, cámaras desarenadoras, desnatadores y separadores de sólidos. Este primer paso no elimina los agentes contaminantes más pequeños como agentes patógenos. Los tratamientos secundarios se refieren a aquellos

que, mediante procesos biológicos realizados por ciertos microorganismos, degradan y descomponen los contaminantes del agua en elementos más simples, como gas metano y nitratos, entre otros. Los tratamientos terciarios son aquellos que se realizan con la finalidad de eliminar cualquier contaminante o agente que haya quedado en el agua para que, después de los anteriores tratamientos, ésta pueda ser usada, incluso para consumo humano.²¹

En el caso de los desechos porcinos y según los lineamientos de la NOM-001-ECOL-1996, si el agua resultante se pretende utilizar para el riego de forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras, se considera que un tratamiento primario es suficiente (Riego No Restringido). Sin embargo, si el efluente será utilizado para el riego de legumbres y verduras que se consumen crudas (Riego Restringido) o será vertido en aguas nacionales o que pudiera infiltrarse a los mantos freáticos, se exigen tratamientos secundarios, e incluso, hasta terciarios para garantizar la calidad sanitaria del efluente.

4.2.1. Sistemas Lagunares.

Actualmente en el país, la tecnología para el manejo de los efluentes en granjas porcinas más utilizada son los sistemas lagunares, que utilizan procesos anaeróbicos y aeróbicos para disminuir la carga orgánica en los efluentes porcinos y así lograr una descarga que cumpla con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana para su uso en el riego agrícola. Representan los sistemas más sencillos para el tratamiento de aguas residuales y por lo tanto, también los más económicos²².

Los sistemas lagunares están constituidos por excavaciones de profundidades variables, al aire libre, rodeadas por taludes de tierra y con un

fondo recubierto de algún material que no permita la excesiva filtración del agua al subsuelo. Sus funciones son la remoción de la materia orgánica, los patógenos que representen un riesgo sanitario y la reutilización del agua para la agricultura, por ejemplo. Al ser un sistema sumamente sencillo, no requieren de equipo electromecánico para funcionar, por lo que no hay consumo de energía y su eficiencia depende de muchos factores como temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos. El tamaño de la laguna estará directamente relacionado con la cantidad de efluentes que produce la granja y con el tiempo de permanencia en el sistema ^{21, 22}.

Los efluentes de las granjas se depositan en estas lagunas en las que tendrán lugar una gran cantidad de reacciones químicas, físicas y biológicas que transformarán esos efluentes en un residuo menos nocivo para el ambiente y que cumplirá con los parámetros de la Norma para su descarga en suelos agrícolas ^{22, 23}.

Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar dentro de un sistema lagunar son: la oxidación de la materia orgánica debida a la respiración de bacterias aerobias, la producción fotosintética de oxígeno por parte de las algas que crecen en las lagunas y la digestión anaerobia de la materia orgánica que produce metano ²².

Existen varios tipos de lagunas de estabilización: anaerobias, aerobias, facultativas y de maduración. En las lagunas anaerobias el proceso se lleva a cabo en ausencia total de oxígeno disuelto, esto debido a las altas cargas de materia orgánica que se depositan en ellas. Uno de sus objetivos es retener la mayor parte de los sólidos en suspensión, que se incorporan a la capa de

fangos en el fondo de la laguna, eliminando una parte de la carga orgánica. El proceso biológico lo llevan a cabo bacterias anaerobias que degradan la materia orgánica, desprendiendo gases como el metano y dióxido de carbono, principalmente. Para lograr este objetivo, se recomienda que la laguna tenga una profundidad de 2.00 hasta 5.00 metros, lo que reduce el área de superficie en contacto con el aire y tienen tiempos de retención muy cortos de 2 a 5 días, para mantener las nulas o bajas cantidades de oxígeno ^{21,22}.

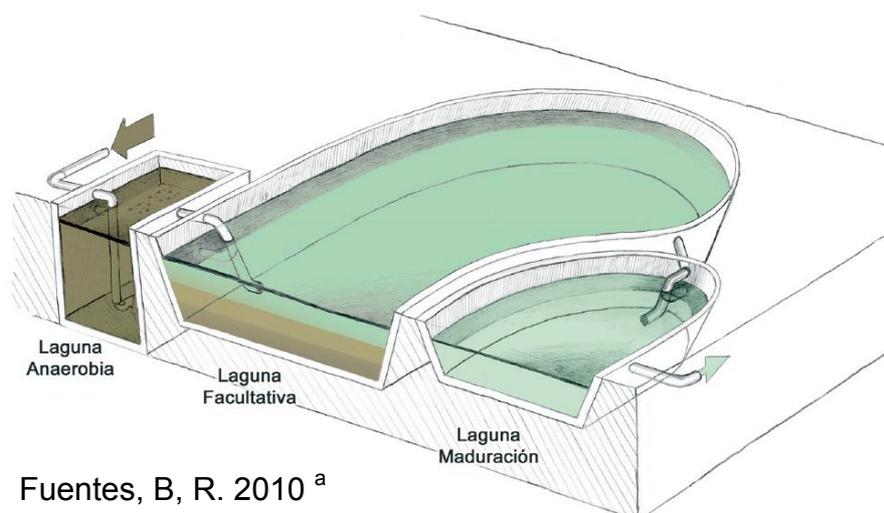
En las lagunas aeróbicas se requiere mantener la presencia de oxígeno en toda la masa de agua, pues la degradación de la materia orgánica ocurre por medio de bacterias aeróbicas que necesitan del oxígeno para realizar sus funciones metabólicas, mismo que obtienen de la fotosíntesis de las algas que crecen en presencia de luz solar y que realizan en intercambio gaseoso en la superficie de la laguna. La relación entre las algas y bacterias es simbiótica, pues las bacterias utilizan el oxígeno que producen las algas para degradar la materia orgánica, liberando en el proceso nutrientes solubles (nitratos y fosfatos), que son utilizados por las algas para su crecimiento y desarrollo. Para mantener la presencia de oxígeno y permitir que la luz solar llegue hasta el fondo de la laguna, se necesitan cargas orgánicas muy bajas (efluentes con tratamientos previos), se recomiendan profundidades no mayores a 1.5 metros y un tiempo de retención largo que va de 20-30 días, por lo que estas lagunas requieren una superficie muy grande y una carga orgánica muy baja ^{21, 22}.

Las lagunas facultativas son aquellas en las que se pueden distinguir tres estratos diferentes dados por la presencia o ausencia de oxígeno disuelto. En la parte más superficial tenemos un proceso de tipo aeróbico, en el que encontramos las condiciones de una laguna aeróbica. En la parte más profunda

de la laguna se tienen las mismas condiciones que en una laguna anaeróbica, los sólidos más pesados se sedimentan y se forman lodos que permiten las condiciones anaeróbicas en las que se formarán gases como el CO_2 , CH_4 y H_2S , que serán, o bien oxidados por los microorganismos de la superficie, o liberados a la atmósfera. En la parte intermedia se distingue una zona de transición, con pequeñas cantidades de oxígeno en donde se desarrollan bacterias facultativas, quienes también ocupan oxígeno, en menor medida que las aeróbicas para la oxidación de la materia orgánica. Por lo tanto, en este tipo de lagunas encontramos todo tipo de microorganismos, desde bacterias aerobias, anaerobias, y facultativas y además algas que son las responsables del suministro de oxígeno en la superficie. La profundidad de estas lagunas va de 1.0 a 2.2 metros y el grosor de los estratos dependerá de la cantidad de materia orgánica con la que se cargue ^{21,22}.

Las lagunas de maduración tienen como objetivo principal la eliminación de los microorganismos patógenos que contiene el efluente. Otros objetivos son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes y clarificación y oxigenación del efluente. Estas lagunas tienen un tiempo de retención de 3 a 10 días dependiendo del número de este tipo de lagunas que se tenga, mínimo 5 días si se utiliza una sola y con profundidades de 1 a 1.5 metros. El número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para la remoción de coliformes fecales. Estas lagunas suelen constituir la parte final de los tratamientos de agua ²².

En la siguiente figura (Fig. 2) se esquematiza un sistema lagunar con algunas de las lagunas mencionadas.



Fuentes, B, R. 2010 ^a

Fig. 2. Esquematización de un sistema lagunar.

Para un sistema de tratamiento en una granja porcina, se puede tener un solo tipo de lagunas o un sistema que combine los diferentes tipos de lagunas, lo que promueve una mejor remoción de contaminantes y produce un efluente con mejores características sanitarias. Se puede realizar previamente una separación de sólidos, mismos que pueden ser procesados para convertirlos en fertilizantes orgánicos de alta calidad, dejando un efluente más sencillo de procesar ²³.

Sin embargo, recientemente se ha demostrado que estos sistemas no son los más adecuados, puesto que las lagunas pueden significar ciertos riesgos de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales debido a que con lluvias intensas pueden llegar a desbordarse o a presentar filtraciones por mal mantenimiento y generación de contaminantes por los sedimentos que se acumulan en ellas. Además de que el sistema de lagunas anaeróbicas

^a Fuentes, B, R. Tecnología para la depuración sostenible del agua residual: Laguna Facultativa [en línea]. Consultado el 15 de marzo de 2012. Disponible en: <http://depuranatura.blogspot.mx/2011/05/laguna-facultativa-esquema-del-ciclo.html>

genera malos olores, es fuente de contaminación con patógenos y fauna nociva, además de que producen metano que no es aprovechado y amoníaco y ácido sulfhídrico, que son importantes contaminantes del aire, causantes de lluvia ácida^{26,27}.

Así mismo, conviene tener en cuenta el hecho de que estos sistemas no representan un beneficio económico excepto el de evitar las multas que la Comisión Nacional del Agua (institución encargada de la vigilancia de los cuerpos de aguas nacionales y de las descargas que se hagan a ellos) pudiera imponerles al no cumplir con los parámetros de la Norma. En este punto hay que tomar en cuenta los parámetros de coliformes fecales que dicta la norma: si la descarga se realizará en aguas y bienes nacionales, el número más probable (NMP) de coliformes fecales permitidos es de 1000, mientras que, si la descarga se realizará en el suelo (riego agrícola), el NMP es de 2000 coliformes fecales por cada 100 mL de agua. Es muy importante destacar que los plazos para cumplir con la norma fueron graduales dependiendo de la carga contaminante y el último plazo venció el 1º de enero de 2010, por lo que hoy, todas las descargas de aguas residuales que se realicen en aguas y bienes nacionales deben cumplir con los parámetros establecidos en la misma. En el título décimo, capítulo I de la Ley de aguas nacionales se detallan las infracciones y se determinan las multas, que por concepto de descargas permanentes, intermitentes o fortuitas de aguas residuales en cuerpos de agua nacionales, así como infiltraciones que pudieran contaminar el subsuelo o el acuífero. Las multas van de 5,001 a 20,000 días de salario mínimo vigente en el Distrito Federal, que a la fecha representan entre \$311,712.33 y \$1,246,600, dependiendo de la gravedad de la falta. En caso de reincidencias, la multa se

puede multiplicar hasta por tres veces ²⁴. Como se puede observar, las multas son muy elevadas y en muchos casos imposibles de pagar por parte de los propietarios, sobre todo por los porcicultores del estrato menos tecnificado.

El sector agropecuario debe de tomar en cuenta nuevas tecnologías que son ambientalmente más amigables y que deben llenar algunos requisitos, por ejemplo:

- Eliminar la descarga de los residuos animales a las aguas superficiales o subterráneas, ya sea directamente o por filtración o fuga.
- Eliminar sustancialmente las emisiones atmosféricas de amoníaco.
- Eliminar los malos olores que se puedan detectar más allá de los límites de la granja.
- Eliminar sustancialmente las fuentes de vectores transmisores de enfermedades y patógenos que pueden transportarse en el aire.
- Eliminar sustancialmente la contaminación del suelo y el agua por exceso de nutrientes y metales pesados.

Las nuevas tecnologías también contemplan la reducción de costos mediante la comercialización de bonos de carbono, lo cual hace mucho más atractiva la adopción de estas tecnologías para los porcicultores. ²⁸

Un estudio realizado en 2007 en el que se compararon tres sistemas de tratamiento para determinar cuál era el más eficiente en cuanto a la remoción de coliformes fecales para cumplir con la NOM-001-ECOL-1996, evidenció que los tratamientos usados (filtración, aireación y laguna facultativa, los tres con

distintos tratamientos previos) no fueron capaces de reducir los parámetros de coliformes totales y fecales para cumplir con la norma. En el trabajo se menciona que, aunque los tratamientos fueron eficientes en la remoción de estas bacterias, los valores encontrados en los efluentes rebasaban los límites máximos permitidos que establece dicha norma.

4.2.2. Producción de biogás.

El biogás es uno de los productos de la degradación biológica de la materia orgánica en condiciones anaerobias por medio de bacterias que consumen dicha materia y producen una serie de gases de los cuales, los más abundantes son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). El metano es un gas inflamable y es precisamente el producto que se desea obtener mediante esta tecnología, pues puede ser utilizado ya sea para combustión directa en estufas o calentadores, así como también para la generación de energía eléctrica con la ayuda de un motor generador.²⁵

El biogás puede ser obtenido a partir de cualquier residuo que contenga materia orgánica, p.e. aguas residuales, excremento, desechos de pastos o desechos orgánicos urbanos. Para producir el biogás es necesario un digestor, dentro del cual ocurrirá la fermentación anaeróbica de la materia orgánica.²³

Como en cualquier proceso, existen factores que inciden en su funcionamiento. En el caso de los biodigestores, los factores a considerar son, principalmente, el tipo de sustrato a utilizar, la carga volumétrica, la temperatura del sustrato, el grado de mezclado y la presencia de inhibidores en la mezcla (antibióticos residuales, por ejemplo).²⁵

Tomando en cuenta dichos factores, se han desarrollado diversos modelos de biodigestores que se acoplan a las necesidades particulares de ciertos procesos, dependiendo de la materia prima, el uso que se le quiera dar al biogás, el costo-beneficio de los equipos necesarios, entre otras variables.²⁵

Muchas producciones y empresas han optado por la tecnología de producción de biogás porque ésta les brinda diversos beneficios, como son:

- Uso directo en cocinas y calentadores, promoviendo un ahorro de éstos servicios.
- Producción de energía eléctrica con la ayuda de un motogenerador.
- Combustible para automotores.
- Su uso para la quema directa, mediante convenios con empresas dedicadas a la comercialización de los denominados “bonos de carbono”, desarrollando proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) a partir de estiércol.²⁵

En el caso particular de las granjas porcícolas se tiene un enorme potencial para este tipo de tecnologías, pues en aquellas más tecnificadas se cuenta con un manejo sistemático de las excretas, que representan un enorme volumen de materia prima para la generación de biogás, el que a su vez se puede utilizar para producción de energía eléctrica o calor. Incluso algunas veces la producción de biogás representa la principal fuente de energía en aquellas granjas que se encuentran en lugares fuera de las redes públicas de luz, por lo que representa el ahorro de otros combustibles para la generación de luz.²⁵

Para la producción de biogás en una granja porcina se necesita construir una laguna de captación de las excretas (generalmente mezcladas con agua) que se diseñe considerando el número de animales en la granja y con ello la potencialidad de producción de excretas. El fondo de la laguna se cubre con una geomembrana y se colocan tuberías para la agitación del sustrato y la recolección de los lodos residuales, que se realiza en la periferia de la laguna por medio de succión. A la orilla de la laguna se instala una tubería que se encargará de la recolección del biogás que se genere cuando se cubra la laguna, una vez llena, con una geomembrana de polietileno.²⁵

Una vez cubierta la laguna se sellan las orillas y comienza el proceso anaeróbico que dará como resultado la producción de biogás, misma que se puede observar a simple vista, pues la geomembrana que cubre la laguna aumenta de volumen. Sin embargo para conocer con exactitud los niveles de producción de biogás se deben instalar medidores para cuantificar su captación.²⁵

Con la finalidad de que el biogás llegue al motogenerador se requiere instalar una tubería de filtrado y una línea de conducción que lleve el biogás del digestor al motogenerador.²⁵

La energía que se produce en el motogenerador puede utilizarse en diversas actividades de la granja, como por ejemplo en alimentadores mecánicos, en los sistemas de calor para lechones, equipo de laboratorio y conservación de semen, entre otros.²⁵

Si se tiene la intención de contabilizar los “bonos de carbono”, la empresa que provee el biodigestor debe de instalar un quemador para la

combustión del biogás. Para garantizar el funcionamiento de este quemador se cuenta con un sistema de encendido para la flama que utiliza celdas solares.²⁵

El gran inconveniente de esta tecnología son sus altos costos de instalación. El sistema del digestor puede alcanzar costos por encima de los 2 millones y medio de pesos y a esto se le debe de sumar el costo del motogenerador o los sistemas necesarios para el uso del biogás, que pueden llegar hasta 1 millón de pesos. Esto hace que la tecnología sea alcanzable solamente por aquellos grandes productores para el mercado nacional y orientados a la exportación. Por otra parte, el monto de la inversión y su complejidad hacen que esta tecnología no se haya difundido ampliamente entre los productores pues consideran también riesgos a su inversión.²⁵

En relación a los ahorros que puede representar una tecnología de este tipo, tenemos que: un motogenerador con un potencial de generación de energía eléctrica mensual promedio de 43,200 kw/mes (60 kw x 24h x 30 días) consume 22.00139436 m³/mes de biogás. Si el motor trabajara 24 horas al día por un mes, consumiendo 15,841 m³ de biogás, esto representaría un ahorro considerable en el uso de otros combustibles de origen fósil utilizados en equipos similares.

Dado que 1 m³ de biogás equivale a:

- 0.71 lt de gasolina
- 0.55 lt de diesel
- 0.45 lt de gas licuado de petróleo

Se ha calculado que se tendría la posibilidad de desplazar el consumo de 11,247 lt de gasolina, 8,712 lt de diesel o 7,128.45 lt de gas licuado.²⁵

En cuanto a los ahorros en energía eléctrica se tiene que un motogenerador de este tipo, trabajando 24 horas al día, en un mes tiene la capacidad de generar 43,200 kw. El consumo promedio de energía eléctrica de las redes tradicionales en las granjas de cerdos se encuentra en un amplio rango de 13,000 a 50,000 kw mensualmente. Por lo tanto para algunas granjas, la implementación del biodigestor puede resultar en el ahorro total de la energía eléctrica, mientras que en otras el ahorro puede ser sustancial, utilizando la energía producida por el biogás para procesos dentro de la granja, como la planta de alimentos y bombas de agua.²⁵

Según los documentos de diseño de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, se estima que en promedio por cada cabeza de cerdo se tiene una reducción de la emisión de gases equivalentes a 0.906 toneladas anuales de CO₂, aprovechándose, además, sus excretas para la producción de biogás y su quema directa. Por lo tanto, una granja de 15,000 cerdos tiene la capacidad de reducir la emisión de gases equivalentes a 13,590 toneladas anuales de CO₂²⁵.

Además de los beneficios ambientales que nos brinda esta tecnología, se presentan beneficios económicos gracias al ahorro de energía eléctrica y de combustibles fósiles.²⁵

En un estudio realizado por SAGARPA y el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), en convenio con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) se encontró que el sólo hecho de reemplazar las líneas tradicionales de energía eléctrica por un motogenerador que trabaje con biogás representa grandes ahorros anuales, con Tasas Internas de Retorno (TIR) de hasta 60% y Costo-Beneficio (C/B) mayores de 2.5. Esto es sólo tomando en

cuenta el costo del motogenerador y su mantenimiento, con una vida útil de 10 años, comparando el costo de la energía eléctrica ofertado por las redes tradicionales.²⁵

Aún tomando en cuenta los costos del biodigestor se tiene una inversión rentable. En un escenario considerado en dicho estudio se muestra que en un sistema completo de biodigestor y motogenerador, que, además, esté beneficiado por el comercio de bonos de carbono, se puede tener una TIR de 24% y un C/B de 2.1.²⁵

Sin embargo, los productores pueden sentirse desalentados de realizar esta inversión porque si no llegan a comercializar exitosamente los bonos de carbono, la TIR se reduce a la tasa de actualización, que es el 12%, y el C/B desciende a 1, además de que el periodo de recuperación de la inversión es alrededor de cinco años²⁵.

Desde luego, los principales incentivos serán los de carácter económico, la probabilidad de reducir la factura por concepto de energía eléctrica y gas, y también de participar en el mercado de bonos de carbono en el marco de los Mecanismos de Desarrollo Limpio.²⁵

4.2.3. Otros tratamientos

Existen tratamientos ya desarrollados para el saneamiento de aguas residuales que aún no se utilizan ampliamente en el sector porcícola de México y que valdría la pena explorar. Algunos de esos sistemas se describen a continuación.

Filtros con biopelícula.

Se conoce como biopelícula a la delgada capa formada por microorganismos de diferentes clases (bacterias, protozoarios, rotíferos, algas, gusanos, hongos y larvas de insectos) que se encuentran inmovilizados en un medio de soporte sólido que entra en contacto con el agua residual que se quiere tratar. La actividad metabólica de estos organismos, principalmente la de las bacterias, es lo que provoca la degradación de los compuestos orgánicos contenidos en el agua residual. Las películas biológicas adheridas son una característica de todos los reactores biológicos ²⁸.

Al poner en contacto las aguas residuales con alguna superficie, ciertos microorganismos presentes en el agua se quedan adheridos a esa superficie (organismos pioneros o iniciadores) por las denominadas fuerzas de Van der Waals (fuerzas de estabilización molecular que forman enlaces no covalentes en los que participan fuerzas de repulsión y atracción) o por apéndices celulares (estructuras extracelulares que permiten la adhesión). Estos microorganismos pioneros secretan una sustancia gelatinosa que va a formar una capa amorfa, porosa o cristalina a la que se van adhiriendo nuevos microorganismos y a los que sirve de sostén y protección. Esta matriz resulta muy absorbente para cationes, material particulado y otras células microbianas. Al principio el crecimiento es lento, pues los microorganismos necesitan cierto tiempo para adaptarse a las condiciones de su hábitat, sin embargo después se van incorporando nuevas colonias que se alimentan de los desechos metabólicos de los otros microorganismos, estableciéndose así la diversidad biológica de la película. La población de la biopelícula está en constante cambio, dependiendo de las condiciones del agua residual y de la disponibilidad de alimento. Cada cierto tiempo, la biopelícula alcanza su fase

de decaimiento, lo que provoca su desprendimiento, comenzando un nuevo ciclo ²⁸.

Los filtros con biopelícula son un sistema de tratamiento físico y biológico que ya se han utilizado en el tratamiento de aguas residuales. El sistema atrapa los sólidos suspendidos en el agua por medio del lecho filtrante, permitiendo, además, el desarrollo de la biopelícula. La combinación de los dos procesos permite que se reduzca la cantidad de sólidos en el agua residual, además de permitir la estabilización de la materia orgánica por parte de los microorganismos en la biopelícula. A estos sistemas se les puede conocer como filtración combinada o reactores, dependiendo del tamaño de partícula de empaque, siendo mayor para los reactores y menos para los filtros ²⁸.

En general los procesos de biopelícula para el tratamiento de aguas residuales se clasifican en tres tipos:

- Discos biológicos o biodiscos
- Filtros percoladores convencionales o filtros rociadores y
- Filtros biológicos sumergidos, que a su vez se dividen en filtros biológicos de lecho fijo, de lecho expandido y de lecho fluidizado, dependiendo del estado hidrodinámico del medio sólido sumergido sobre el cual crece la biopelícula ²⁸.

Generalmente, estos sistemas se combinan con otros reactores para lograr una remoción más adecuada de los contaminantes en el agua residual. Un ejemplo de esto es un estudio realizado en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el que se probó un sistema de 3

reactores biológicos de tezontle, obteniéndose resultados muy favorables de remoción de materia orgánica y otros contaminantes:

- Se redujo más del 97% de la materia orgánica (DBO).
- Se redujo de 84 – 92% de la demanda química de oxígeno total.
- Se redujo de 84 – 98% de la turbidez y 73 – 91% del color.
- Se redujo de 91 – 99% la concentración de sólidos volátiles.

El efluente que se obtuvo de este tratamiento fue apto para su reuso para la limpieza de la granja, por lo que además de lograr reducir la contaminación de suelo y agua, se obtuvo un ahorro de este recurso tan valioso ²⁹.

Tratamientos aeróbicos.

Una alternativa interesante para el tratamiento de efluentes de las granjas porcinas es el tratamiento aeróbico, que reduce significativamente la producción de GEI, pues el metano no se produce en condiciones aeróbicas. Aún no se ha probado en México, sin embargo se han hecho pruebas en Chile y Estados Unidos que comprueban los beneficios ambientales y económicos que se pueden obtener con el proceso aeróbico.

En un esfuerzo del gobierno Estadounidense por desarrollar nuevas y mejores tecnologías para el manejo de desechos de granjas porcinas, que sustituyeran los sistemas lagunares y fueran más amigables con el ambiente, en la primera década del siglo XXI, se probó un sistema aeróbico de

tratamiento de efluentes porcinos; los resultados fueron muy alentadores en cuanto a eficiencia y eficacia.³⁰

El sistema utilizado consta de dos pasos:

- 1) Un tratamiento *in situ* del agua residual, con separación de líquidos y sólidos, usando flocculantes y filtros. Tratamiento de la fracción líquida utilizando remoción biológica del nitrógeno, desinfección química y remoción del fósforo soluble usando cal.
- 2) Tratamiento de los sólidos en otra instalación fuera de la granja, en donde se combinaron estos residuos con barredura de algodón para proceder a su composteado, reduciendo los desechos a humus estable para utilizarlo como fertilizante orgánico.³⁰

En el paso uno se logró la remoción de 97% de los sólidos suspendidos, 95% del fósforo y 99% del amoniaco en la fracción líquida, así como más del 99% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y componentes que causan mal olor. La composta fue un producto de alta calidad que conservó el 96.5% del nitrógeno de forma estable.³⁰

Con la ayuda de cálculos establecidos por la Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC, por sus siglas en inglés), se pudieron establecer las medidas de las reducciones de las emisiones de GEI, sin embargo, para la comercialización de los bonos de carbono se requiere que estas reducciones sean medibles y demostrables con algún sistema aprobado

por la UNFCCC. Con estos cálculos se determinó que se redujeron 96.9% de las emisiones de GEI (el metano se redujo 99% y el óxido nitroso 75.2%).³⁰

En dicho trabajo se menciona una comparación, llevada a cabo por la mayor empresa porcicultora en Chile, de las reducciones obtenidas con este sistema aeróbico contra aquellas obtenidas de un sistema de biodigestión y el resultado mostró que los sistemas aeróbicos reducen 91.4% las emisiones de GEI, mientras que el anaeróbico las reduce en 63.3%. Por lo tanto, se deduce que, en términos de reducción de emisiones, los sistemas aeróbicos son más eficientes que los anaeróbicos.³⁰

En cuanto a los costos de la tecnología se tiene que, el sistema de laguna anaeróbica le cuesta al productor (en este caso particular de Estados Unidos) US\$4.59 por cerdo finalizado, mientras que la tecnología limpia aeróbica, comercializando los bonos de carbono, le cuesta US\$3.86. El artículo calcula ganancias de, entre US\$17,600 y US\$52,800 anuales, dependiendo del tamaño de la granja, lo que puede ser un buen aliciente para la integración de tecnologías limpias en las granjas porcinas³⁰.

Esta tecnología se ha seguido desarrollando, dando lugar a la segunda generación, que tuvo como objetivo reducir los costos totales de la tecnología y aumentar los beneficios ambientales. Con algunos cambios en el proceso se lograron mejores parámetros y mejores ganancias económicas. Además de la reducción de contaminantes se midieron parámetros productivos de la granja, donde se pudo observar una reducción de 57% en la mortalidad, un aumento de 11% en la ganancia diaria de peso y una mejora de 5.4% en la conversión alimenticia. El productor vendió 5.6% más cerdos comparado con las ventas

cuando utilizaba la laguna anaeróbica. Esto se refleja directamente en las utilidades de la granja, por lo que esta tecnología prueba ser económicamente factible, pues además de la venta de bonos de carbono, el productor obtiene beneficios por el mejoramiento de las condiciones sanitarias de su unidad productiva ³¹.

Fito y Biorremediación.

La fitorremediación es un sistema de limpieza aplicable a suelos y agua, que aprovecha la capacidad de las plantas de absorber ciertos nutrientes o sustancias tóxicas, misma que se utiliza para el tratamiento de una gran cantidad de contaminantes del medio ambiente. Las plantas funcionan como filtros biológicos que descomponen sustancias metabolizándolas o integrándolas en sus raíces, estabilizando el agua o suelo donde se encuentren. Diferentes plantas tienen diferentes capacidades descontaminantes, por lo que se debe de elegir bien qué plantas son adecuadas para qué propósitos ³².

Para el tratamiento de aguas residuales de granjas porcinas se ha utilizado este tratamiento en un sistema que se conoce como “humedales artificiales”. Estos humedales son estanques de menos de un metro de profundidad en los que se depositan las aguas residuales y se plantan las especies vegetales que se considere apropiadas para el saneamiento de los efluentes ³².

En los últimos años el uso de plantas para la remediación de aguas residuales ha aumentado alrededor del mundo debido a la gran productividad de las plantas, su fácil cosecha y su gran potencial para remover y aprovechar

nutrientes. Se han utilizado gran variedad de plantas para estos sistemas, por ejemplo: el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), huzapotillo (*Hydrocotyle umbellata*), lenteja de agua (*Lemna spp*), entre otras especies, como algunos pastos tolerantes a altas humedades y que tienen mayores capacidades descontaminantes por sus muy desarrollados sistemas radiculares, pudiendo incluso llegar a reducir la carga de antimicrobianos (sulfas) en el agua de desecho hasta un 99.5%. Un ejemplo de estos pastos es el “rye-grass” criollo (*Lolium multiflorum*), así como también otras gramíneas de esta familia³³.

La fitorremediación representa sistemas de bajo costo de construcción y mantenimiento por ejemplo, las plantas que crecen en los humedales pueden ser utilizadas para la alimentación animal, ya sea de rumiantes o de los mismos animales en la granja, siempre y cuando las aguas residuales no contengan elementos tóxicos. En el caso de especies florales, se puede tener un ingreso extra de la venta de las flores. Sin embargo, si no se tienen buenas medidas de control, sobre todo con las plantas acuáticas (macrófitas), éstas pueden proliferar excesivamente y convertirse más en un problema que en una solución. Éstas pueden obstruir el flujo, provocar eutrofización en el agua y crear espacios propicios para plagas o vectores de enfermedades. Por otro lado, una ventaja de los tratamientos de fitorremediación es que algunas plantas tienen la capacidad de absorber metales pesados (cadmio, selenio y cobre, principalmente), que se encuentran presentes en las heces de los cerdos y que no son fáciles de remover con los otros sistemas. Esto podría significar un ahorro de estos elementos en la dieta si se pudiera determinar la

cantidad de estos metales en las plantas y reintegrarlos a la dieta de los animales de la granja ³⁴.

Se han reportado disminuciones en la demanda Bioquímica de Oxígeno de 40% y de los Sólidos Suspendidos Totales del 73% ³⁴. Quizá los valores no son muy prometedores. No obstante, si se considera este tratamiento como secundario a otros tratamientos, como de filtración o biodigestión, se puede obtener un efluente de muy buena calidad.

Por otro lado, la biorremediación se refiere a la descomposición biológica de los desechos orgánicos hasta hacerlos inocuos o disminuir los niveles de sustancias nocivas por debajo de los establecidos por las legislaciones o normas. Estos procesos suceden de manera natural en todos los tratamientos que se han mencionado, sin embargo, la investigación en biología molecular y ecología ha desarrollado últimamente procesos biológicos más eficientes que permiten ser mucho más específicos en la remoción de contaminantes, logrando disminuir el tiempo de tratamiento y facilitando muchas veces los tratamientos secundarios. Los procesos son dependientes de los factores ambientales en las que se pretenda realizar la biorremediación, por ejemplo el pH, la temperatura, la humedad o el grado de oxigenación - aunque se han aislado microorganismos en condiciones extremas- los procesos se facilitan y aceleran si se provee de las condiciones adecuadas ³⁵.

Con estos avances biotecnológicos se pueden tener microorganismos que sean específicos para un contaminante y desarrollar fórmulas que permitan el tratamiento integral de las aguas residuales, dependiendo del origen de éstas. Estas fórmulas se vierten directamente en las lagunas o, incluso,

directamente en los corrales de los animales, para que los procesos comiencen inmediatamente. De esta manera se pueden tener fórmulas con microorganismos específicos que degraden grasas, celulosa, proteína, aceites, sólidos orgánicos y detergentes, reducen malos olores y concentraciones de amoníaco, nitratos, etc. Cabe mencionar que las especies bacterianas en las fórmulas han sido estudiadas a fondo y no representan ningún riesgo para animales, humanos, plantas u otros organismos.³⁶

Estas fórmulas se han utilizado con éxito en diversos tratamientos de remediación de agua y suelos, como fosas sépticas, tratamiento de aguas residuales, derrames de petróleo, ganadería y acuicultura, basureros, materiales peligrosos, remediación de suelos, etc.³⁶

En México, estas tecnologías han sido empleadas principalmente en la remediación de suelos contaminados con sustancias tóxicas, hidrocarburos, metales pesados, etc. Sin embargo su uso en la ganadería aún es limitado, no habiendo investigaciones sobre su eficiencia y sus beneficios.

4.3. Análisis de las ofertas existentes de tecnologías.

Los sistemas lagunares, así como los humedales y los filtros son tecnologías que pueden parecer sencillas de construir, sin embargo, es muy importante que se consulten expertos en el tema que conozcan de las especificaciones técnicas de arquitectura e ingeniería que se requieren para que los sistemas funcionen como se pretende. Existen muchas

consideraciones que deben hacerse sobre diseño, ingeniería hidráulica, mecánica de suelos, etc., que de no tomarse en cuenta puede resultar en un sistema que no cumple sus propósitos y en el que se han invertido cuantiosos recursos económicos. Para garantizar la funcionalidad de los sistemas conviene involucrar a un experto que realice un proyecto ejecutivo que contenga la ingeniería básica del sistema. Este proyecto incluye:

- El diseño arquitectónico, que delimita espacios y determina los sitios de construcción y los diseños estructurales del sistema.
- El proyecto estructural que considera los estudios de mecánica de suelos, materiales a utilizar, etc.
- El proyecto electro-mecánico, que considera los usos de energía, los sistemas de cableado, las cargas que tendrá el sistema, etc.
- El manual de operaciones y control, para asegurar el buen funcionamiento y mantenimiento del sistema y
- El dimensionamiento del sistema, para los cálculos de tiempos de retención y la ingeniería básica.

Por la realización de este proyecto, un ingeniero especializado puede cobrar por concepto de honorarios del 20 al 25% del costo total del proyecto, más las pruebas de tratabilidad que se tengan que hacer del agua previamente. El costo del proyecto se calcula desde el costo de las materias primas, la maquinaria, el material, entre otros.

Los costos de construcción de los sistemas se acumulan y son muy variables dependiendo de los proveedores de los materiales, la disponibilidad

de maquinaria, mano de obra, etc., que se necesiten para cada proyecto en específico.

Por otro lado, para la construcción de biodigestores existe una amplia cartera de proveedores en México, quienes los construyen y equipan. Dentro del Proyecto de Energías Renovables de FIRCO existe un padrón de estas empresas con los datos y especificaciones de las mismas.

Según este padrón existen 42 empresas que fabrican o distribuyen biodigestores en México. Entre esas 42 empresas se han construido alrededor de 591 biodigestores en todo el país. En el siguiente cuadro se muestra la clasificación de las empresas según la situación en la que se encuentren con FIRCO y el número de éstas que se listan en dicho patrón, así como el número de biodigestores que han construido.³⁷

Clasificación de la empresa	Número de empresas	Número de biodigestores
En proceso de registro	10	11
Registradas	10	60
Verificadas	11	71
En proceso de certificación	11	449
TOTAL	42	591



De estas 42 empresas, 38 son mexicanas y 4 son extranjeras. Sin embargo, esas 4 empresas extranjeras han construido 362 biodigestores, mientras que las 38 mexicanas han construido 229 ³⁷.



Una sola empresa extranjera (Environmental Fabrics de México S de RL de CV) se adjudica la construcción de 350 sistemas de biodigestión para la industria agropecuaria, más que los construidos por las 38 empresas mexicanas juntas ³⁷. Con estos datos se puede concluir que de alguna manera se ha favorecido la inversión extranjera antes que la nacional en lo que se refiere a la construcción de biodigestores, o bien que las compañías mexicanas no son competitivas.

De las 42 empresas 33 son fabricantes y 9 son distribuidoras de otras empresas ³⁷.

Se logró contactar a una de estas empresas, Construtek Edificios Prefabricados S.A de C.V., que facilitó la siguiente información acerca de los costos de un sistema de biodigestión:

TABLA DE COSTOS DE UN SISTEMA DE BIODIGESTIÓN PARA UNA GRANJA PORCINA DE CICLO COMPLETO CON LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:

- Localización geográfica en clima medio templado en la zona centro del país. Como ejemplo se consideró Celaya, Gto.
- Se consideró un tiempo de retención de 30 días.
- El sistema incluye una fosa secundaria facultativa con un día de capacidad de retención, para completar el tratamiento con destino agrícola o para su reuso en la granja.
- También se consideran la agitación hidráulica del sistema y la preparación para el retiro de lodos.

Número de vientres	Costo (miles de pesos)
250	1.153,00
500	1.535,00
750	1.910,00
1000	2.189,00
1250	2.480,00
1500	2.563,00

1750	2.881,00
2000	3.124,00

Hay que tomar en cuenta que estos costos no incluyen la instalación del motogenerador para la obtención de energía, por lo que si este es el fin que se busca para el biogás, se deben añadir los costos del mismo, mismos que varían mucho en precio, desde los \$200,000 hasta el \$1,000,000; se pueden encontrar incluso equipos cotizados en euros y en dólares, mucho más costosos.²⁵

En cuanto a las empresas dedicadas a la biorremediación, según el Instituto Nacional de Ecología (INE), existen un gran número de empresas dedicadas a la remediación de sitios contaminados. A partir del año de 1997, las autoridades ambientales establecieron un programa de verificación y certificación de estas empresas y, actualmente, para poder realizar un trabajo de biorremediación de sitios contaminados es necesario contar con permisos específicos, como la licencia ambiental única (LAU). Sin embargo, de las empresas que se pueden encontrar dedicadas a esta tecnología, la gran mayoría se dedica únicamente a la remediación de suelos contaminados con compuestos orgánicos como hidrocarburos, lodos aceitosos, lodos de perforación y recortes de perforación³⁸.

Muy pocas empresas refieren dedicarse al tratamiento de aguas residuales de la industria pecuaria. Para esta investigación se localizaron únicamente tres empresas que se encargan de la biorremediación de los desechos de granjas porcinas, de las cuales dos proporcionaron la información

sobre sus productos: Bio Tech de México y Encore Biotechnology. Ambas empresas son estadounidenses y tienen distribuidores en México.

Bio Tech de México ofrece un producto en polvo degradador de estiércol conformado por una mezcla de microorganismos y nutrientes que crecen en el estiércol degradando la materia orgánica y ofreciendo beneficios como eliminación de olores relacionados con el sulfuro de hidrógeno, etil y butilaminas, mercaptanos y amoníaco, reducción del volumen, eliminación de microorganismos patógenos y reducción de la DBO. Refieren que las lagunas se vuelven funcionalmente activas y los componentes biodegradables del estiércol se reducen en una fracción del tiempo³⁹.

El producto es un polvo color ámbar, soluble en agua, con un rango efectivo de pH de 5.5 a 9.5 y de temperatura de 7 a 55 °C. Los técnicos de la empresa mencionan que tiene una vida de almacén de 12 meses y reportan un conteo bacteriano de 5.2 millones de microorganismos por gramo. Otras ventajas que publican en su ficha técnica son:

- Puede incorporarse en la mayoría de los sistemas de manejo de desechos.
- Elimina los malos olores en los depósitos de los desechos, como las lagunas, así como también en los corrales de confinamiento donde se encuentran los animales.
- Mejora el oxígeno disuelto en el tratamiento de lagunas.
- Reduce los niveles de gases tóxicos como el amoníaco, sulfuro de hidrógeno, metano y dióxido de carbono.

- Al reducir la concentración de gases, así como los agentes patógenos, se obtienen mejoras en el ambiente donde viven los animales, minimizando el estrés y reduciendo los valores de morbilidad y mortalidad animal.
- Genera un fertilizante de buena calidad.

La dosificación del producto recomendada en la ficha técnica es la siguiente:

- *Para tratamiento de fosas de estiércol, tanques recolectores y lagunas de desechos animales:* Usar 5-10 gramos por cada m³ de flujo de la planta durante los primeros 15 días, luego repetir 1 a 2 veces por semana.
- *En pilas de estiércol, para facilitar la descomposición de los compuestos y eliminar olores:* Diluir en agua y rociar directamente la pila de estiércol a razón de 5 – 10 gramos por cada 5 litros de agua, pudiéndose ajustar la dilución según la intensidad del olor.
- *En instalaciones, para el control de olores en corrales, pisos y compartimentos:* Diluir en agua y rociar toda el área a razón de 10 gramos por cada 5 litros de agua. Se aplica según lo requerido.

Un kilogramo del producto tiene un precio de \$670.00. Resulta complicado realizar un estimado del costo de este tratamiento porque depende de las condiciones particulares de cada granja, sobre todo del flujo de agua que se tenga por día, lo que depende del número de animales y la eficiencia con la que el agua es utilizada en la granja. Es por esto que antes de recomendar un tratamiento, la empresa realiza un cuestionario muy detallado sobre las especificaciones de la granja, la calidad del efluente y las necesidades

específicas de cada producción. Se requiere así mismo, un estudio detallado de las condiciones de las instalaciones para poder hacer un programa específico de tratamiento para las condiciones de la producción, así como realizar un presupuesto real.

En el caso de la empresa Encore Biotechnology, el producto que ofrecen es una combinación líquida de microorganismos que ayuda a reducir la acumulación de desechos y así disminuir la cantidad de agua que se utiliza en la limpieza y que llena las celdas o lagunas de tratamiento. Las ventajas que refieren en su ficha técnica son:

- Reducción del amoníaco y otros compuestos nitrogenados, lo que reduce los malos olores.
- Reduce la acumulación de materia orgánica en los canales de desagüe, reduciendo la cantidad de agua que se utiliza en el proceso.
- Ofrece un mejor control de la composta y el polvo.
- Reduce los lodos, DBO, DQO y SST en las lagunas o celdas de tratamiento.
- Son productos de fácil aplicación.

La dosificación que recomiendan de su producto en cubículos de cerdos y de ganado es la siguiente:

- a) *Dosis inicial*: dos litros del producto por cada 500 galones (1892.7 lt) de agua para tratar un área de 1000 m². Se aplica por aspersión en pisos y paredes dos veces por semana las primeras dos semanas.

- b) *Dosis de mantenimiento*: dos litros por cada 500 galones de agua para tratar un área de 2000 m², aplicándose de la misma manera.

El producto tiene una vida de anaquel de un año si se conserva adecuadamente a temperatura ambiente en lugares donde las temperaturas no sean extremas o haya cambios repentinos de las mismas.

En este caso para realizar el programa específico de tratamiento y presupuesto de cada granja también realizan un cuestionario detallado, acompañado de visitas de los expertos de la empresa a las granjas, lo que garantiza un programa específico para cada granja. Para estimar el costo de este tratamiento es necesario saber el área que se pretende cubrir y la cantidad de agua que se utiliza para su limpieza.

4.4. Análisis de los instrumentos gubernamentales y los incentivos internacionales.

4.4.1. Incentivos gubernamentales

La SAGARPA, a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), puso en marcha en el año de 2006 un estudio colaborativo con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) en el cual se instalaron 9 módulos demostrativos de producción de energía eléctrica a través de la generación de biogás, con lo cual se logró dar difusión y promoción a esta tecnología a partir del cual se incluyó la instalación de ésta tecnología en el Proyecto de Apoyo al Valor Agregado de Agronegocios con Esquemas de Riesgo Compartido (PROVAR), que apoya, además de la construcción de biodigestores e

implantación de sistemas de energía renovable y eficiencia energética, diversos proyectos, como lo son: el apoyo a los agronegocios insertos en los Sistemas Producto, certificación de orgánicos, turismo en áreas rurales, etc.²⁵

El objetivo general de PROVAR es “aplicar esquemas de Riesgo Compartido para la instrumentación de Agronegocios con visión empresarial y de mercado que incorporen valor agregado a la producción primaria, articulando los proyectos estratégicos de la SAGARPA y vinculando acciones y tecnologías de conservación del medio ambiente, mediante la prestación de servicios financieros complementarios, propiciando el uso de energías renovables”. Y, los objetivos específicos, que se refieren al uso de biodigestores, son “promover y difundir la conservación del medio ambiente y la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI), mediante la utilización de prácticas de uso eficiente de la energía y el uso de fuentes de energías no convencionales. Generar alianzas estratégicas y sinergias entre productores y proveedores de infraestructura, equipos y los servicios requeridos en la cadena producción-consumo”. La población objetivo de este programa, para el caso de los sistemas de biodigestión engloba a “productores primarios y empresarios del sector rural, con unidades productivas lecheras o porcinas, que cuentan con cuando menos 300 vientres en producción lechera o 200 vientres porcinos en sistema de ciclo completo, cuyas excretas puedan ser utilizadas para la producción de biogás y su aprovechamiento en la generación de energía térmica o eléctrica, a fin de reducir costos de producción y para la conservación del medio ambiente”.⁴²

La mecánica para solicitar el apoyo de PROVAR es la siguiente:

1. Presentar la solicitud de apoyo que se puede descargar del sitio en Internet en las Gerencias Estatales de FIRCO de la Entidad Federativa donde se pretende llevar a cabo el proyecto, donde se determinará su elegibilidad y viabilidad para ser considerada en el PROVAR.
2. La solicitud deberá ser acompañada de los siguientes documentos:
 - a. Un Plan de Negocios o Estudio de Factibilidad técnica, económica, financiera y ambiental del proyecto. Para realizar dicho plan, en el sitio de Internet del PROVAR se proporcionan las guías específicas para cada tipo de proyecto.
 - b. Copia simple de la Cédula de Registro Federal de Contribuyentes de la empresa o el productor solicitante.
 - c. En caso de empresas, copia simple expedida por Notario o Fedatario público del acta constitutiva de la empresa solicitante.
 - d. Copia simple expedida por Notario o Fedatario público del documento que otorga poderes de representación legal de la empresa a quienes firman la solicitud.
 - e. Copia simple de la credencial de elector o pasaporte vigente del productor o de los representantes legales de la empresa que suscriben la solicitud.
 - f. En caso de empresas u organizaciones, copia simple expedida por Notario público del acta de asamblea de socios o reunión del Consejo de Administración o equivalentes de la

empresa, donde se haga constar que los asistentes a dicha asamblea o reunión están informados del proyecto para el que se solicitan los apoyos y que aprueban su ejecución y la aportación de los recursos que correspondan.

- g. Cuando se trate de empresas ya establecidas, copia y original para cotejo de los estados financieros más recientes, firmados por el correspondiente representante legal y el contador responsable de la empresa. Para empresas nuevas, el balances iniciales de la constitución de la empresa y sus proyecciones contenidas en el plan de inversión o de negocios.
- h. Presentar el acuse de recepción emitida por el Sistema de Administración Tributaria (SAT), el cual se obtiene a través de su página de Internet. Dicha constancia señala el haber solicitado al SAT opinión sobre el cumplimiento de las obligaciones fiscales del solicitante, antes de la entrega del apoyo.⁴²

A todas las solicitudes que sean debidamente documentadas, se les asignará un número de folio. Las solicitudes con dictamen favorable de las Gerencias estatales de FIRCO sobre su elegibilidad, serán turnadas al nivel central para su análisis por parte del Grupo Técnico de Trabajo correspondiente, para su posterior presentación y en su caso autorización por parte del Comité Técnico Especializado (CTES) Nacional.⁴²

El director general de FIRCO a través de las gerencias estatales informará por escrito a los solicitantes y a la delegación de la SAGARPA sobre

la autorización o negativa de los apoyos solicitados en un plazo no mayor a 15 días posteriores a la resolución del CTES.⁴²

Una vez autorizados los proyectos, se establecerá un convenio entre la gerencia de FIRCO y los beneficiarios para formalizar la entrega de los recursos conforme al calendario presupuestal autorizado. El beneficiario debe reportar a la gerencia de FIRCO la realización del proyecto y en su momento, su terminación. A su vez FIRCO realizará la verificación y el seguimiento de las acciones consideradas en el proyecto y la correcta aplicación de los recursos.

42

En el año de 2011 se realizó el Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México, por parte de la SAGARPA y FIRCO, en el que se evaluó este programa de apoyo a la instalación de biodigestores en las granjas porcícolas y establos lecheros del país. Se determinó que únicamente se han instalado estos sistemas en unidades tecnificadas, por tener las condiciones necesarias, es decir, número de animales y adecuada recolección de excretas, a lo que se debe de incluir el hecho de que son este tipo de unidades productivas las que tienen el recurso económico necesario para adquirir esta tecnología²⁶.

Además se determinaron los problemas más comunes que se han encontrado en los sistemas, los cuales son:

- Sobredimensionamiento del sistema.
- Fallas en los sistemas de agitación
- Fallas en el quemador
- El mantenimiento es inadecuado

- Los propietarios no están familiarizados con el funcionamiento del sistema.²⁶

En este trabajo también se determinó que, debido a la factibilidad de adopción de esta tecnología en particular, solamente 5,731 granjas de un total de 1,732,511 que existen en todo el país, tienen la capacidad de instalar un sistema de biodigestión, es decir el 0.33%. Sin embargo, a pesar de que no representan ni el 1% de las unidades productivas, éste tipo de granjas concentran más del 50% de la población porcina nacional (8.3 millones de cabezas). Debido a lo anterior se puede afirmar que, a pesar de que el mercado actual de los sistemas de biodigestión es muy reducido, se puede lograr un impacto importante en la reducción de contaminantes ya que los inventarios que manejan las granjas objetivo son muy grandes²⁶. Sin embargo aún queda el restante 50% de la población porcina que también genera grandes cantidades de residuos y que representa otros problemas como escasos recursos para invertir en sistemas costosos de tratamiento de agua, desconocimiento de la legislación, escasa consciencia sobre las consecuencias ambientales del inadecuado manejo de los desechos y poco conocimiento de las tecnologías existentes, además de carecer de instalaciones adecuadas.

Dentro el Protocolo de Kyoto se contemplan los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) como una herramienta para aumentar el costo-beneficio de la mitigación del cambio climático. Para el año de 2009, México registró ante la Junta Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático 142 de estos proyectos (PDD's) tendientes a la reducción de emisiones en el sector agropecuario y que incluían 563 sistemas de biodigestión. Según la Convención Marco sobre Cambio Climático de la ONU

(UNFCCC, según sus siglas en inglés) de estos 142 PDD's, 88 corresponden a la reducción de emisiones en granjas porcinas en los principales estados productores de cerdo en el país. En este conjunto de proyectos, se estimaron reducciones de casi 3.5 millones de toneladas de equivalentes CO₂²⁶.

Según el diagnóstico realizado por SAGARPA, se sabe que para el 2011 existían en México 721 biodigestores, de los cuales 563 corresponden a los derivados de PDD's, 154 apoyados por el programa de FIRCO y 4 más instalados bajo la iniciativa "Methane to Markets" (M2M). Estos equipos se ubicaron, principalmente en las regiones Noroeste y Centro-occidente del país, que se caracterizan por tener los sistemas más tecnificados para la producción porcina²⁶.

Los esquemas de financiamiento de los apoyos son diferentes, mientras que en las iniciativas de MDL y M2M la inversión para el sistema es realizada en su totalidad por los productores interesados (habiendo algunos casos de empresas que invertían en el sistema de biodigestión con la finalidad de tener una participación de la venta de los bonos de carbono), en el programa de FIRCO se apoya con el 50% de la inversión y hasta \$1,000,000 de pesos para la construcción del biodigestor o la adquisición de los motogeneradores para la producción de la energía eléctrica²⁶.

4.4.2. Incentivos internacionales.

En el año de 1992 se lleva a cabo en Río de Janeiro (Brasil) la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo,

también conocida como “Cumbre de la Tierra de Río”, en donde se dieron a conocer tres tratados internacionales: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención de Lucha contra la Desertificación. Las tres se conocen como las “Convenciones de Río” y se encuentran estrechamente relacionadas, pues el cambio climático afecta directamente a la biodiversidad y la desertificación. En la siguiente línea del tiempo se muestra la historia del proceso climático en la UNFCCC ³⁹.

CRONOLOGÍA DE LOS EVENTOS RELACIONADOS CON EL CAMBIO CLIMÁTICO	
1979	Se celebra la primera Conferencia Mundial sobre el Clima
1988	Se establece el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)
1990	Se publica el primer informe de evaluación del IPCC. El IPCC y la segunda Conferencia Mundial sobre el Clima solicitan un tratado mundial sobre el cambio climático. Comienzan las negociaciones en la Asamblea General de las Naciones Unidas en torno a una Convención marco.
1991	Se celebra la primera reunión del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN)
1992	El CIN adopta el texto de la Convención del Clima. En la cumbre de la Tierra en la ciudad de Río queda lista la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) para la firma, junto con el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención de Lucha contra la Deforestación.
1994	Entra en vigor la UNFCCC
1995	Se celebra la primera conferencia de las partes (países que firmaron la Convención) (CP1) en Berlín
1996	Se establece la Secretaría de la Convención para apoyar las acciones de la Convención.
1997	Se adopta oficialmente el Protocolo de Kyoto en la CP3 en diciembre.
2001	Se publica el tercer informe de evaluación del IPCC. Se adoptan los acuerdos de Bonn siguiendo el Plan de Acción de Buenos Aires de 1998. Se adoptan los acuerdos de Marrakech en la CP7, que detallan las reglas para poner en marcha el Protocolo de Kyoto.
2004	Se acuerda el programa de trabajo de Buenos Aires sobre las medidas de adaptación y de respuesta en la CP10
2005	Entra en vigor el Protocolo de Kyoto. La primera reunión de las partes en el Protocolo de Kyoto (MOP1) se celebra en Montreal. De acuerdo con los requisitos del Protocolo de Kyoto, las partes

	iniciaron las negociaciones en torno a la siguiente fase del mismo en el marco del Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos de las partes del anexo I con arreglo al Protocolo de Kyoto (GTE-PK)
2006	Se adopta el programa de trabajo de Nairobi
2007	Se publica el cuarto informe de evaluación del IPCC. El público se sensibiliza sobre la ciencia del cambio climático. En la CP13 las Partes acuerdan la Hoja de Ruta de Bali, que marca el camino hacia una situación mejorada después de 2012 a través de dos corrientes de trabajo: el Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos con arreglo al Protocolo de Kyoto (GTE-PK) y otro grupo creado en el marco de la Convención, el Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo (GTE-CLP).
2009	Se inicia la redacción del Acuerdo de Copenhague en la CP15 celebrada en Copenhague. La Conferencia de las Partes “toma nota” del mismo y posteriormente los países presentan promesas no vinculantes de reducción de las emisiones o promesas de medidas de mitigación.
2010	Se redactan los Acuerdos de Cancún que son ampliamente aceptados por la Conferencia de las Partes en la CP 16. En dichos acuerdos los países formalizaron las promesas que habían hecho en Copenhague.
2011	De camino a la décimo séptima Conferencia de las Partes (CP17) en Durban.

El objetivo fundamental de la UNFCCC es estabilizar las emisiones de GEI a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Este nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible ³⁹.

En la Convención se pide a los países industrializados que establezcan inventarios precisos y periódicamente actualizados de las emisiones de GEI, tomando como referencia el año de 1990 para realizar los cálculos. Esto con el objetivo de conocer las dimensiones del problema. Y se alienta a los países en vías de desarrollo para que realicen estos inventarios también ³⁹.

Los países que han ratificado el tratado (Partes en la Convención) se comprometen a tener en cuenta el cambio climático en los asuntos relacionados con la agricultura, la industria, la energía, los recursos naturales y las actividades que afectan a los litorales marinos ³⁹.

La carga más pesada de la Convención para frenar el cambio climático recae sobre los países desarrollados, quienes son responsables de la mayoría de las emisiones de GEI en el pasado y en la actualidad. Es por ello que se pide a estos países que hagan todo lo posible por reducir las emisiones en sus procesos, además de que aporten la mayor parte de los recursos necesarios para los esfuerzos que se deban realizar en otros lugares. Estas naciones industrializadas se comprometen a respaldar actividades relacionadas con el cambio climático en los países en desarrollo, ofreciéndoles apoyo financiero, sin perjuicio de otra asistencia que se presente a dichos países. Se ha establecido un sistema de donaciones y préstamos, a través de la convención, que es administrado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Así mismo, los países industrializados se comprometen a compartir las tecnologías que desarrollen, con las naciones menos avanzadas ³⁹.

Los países en vías de desarrollo tienen la oportunidad de obtener beneficios económicos derivados de sus esfuerzos para mitigar los efectos del cambio climático. Para ello deben realizar proyectos de mitigación bajo el esquema de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) aprobado por la Convención. Estos MDL permiten a los proyectos de reducción de emisiones en dichos países, ganar lo que se conoce como “bonos de carbono” (Certified Emission Reduction Credits: CERs), cada uno equivalente a una tonelada de CO₂. Estos CERs pueden ser canjeados o vendidos y sirven a los países

desarrollados para cumplir con una parte de sus compromisos de reducción dentro del protocolo de Kyoto ⁴⁰.

La metodología para registrar un MDL en la UNFCCC es complicada y se requiere un completo conocimiento de las políticas y los requerimientos para evitar alargar demasiado el proceso. Las granjas podrían llevar a cabo los trámites, sin embargo, existen empresas consultoras que se especializan en apoyar técnica y administrativamente las gestiones. Estas empresas consultoras cobran de un porcentaje de la venta de los bonos de carbono del proyecto realizado.

El ciclo de los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio consta de 7 pasos esenciales, los cuales se describen a continuación:

1. **Diseño del Proyecto.** Se lleva a cabo por el interesado en el proyecto, quien realiza un documento de diseño de proyecto (PDD, por sus siglas en inglés), el cual está basado en metodologías apropiadas para el cálculo de las emisiones basales y de monitoreo. La información sobre el proyecto MDL debe ser presentada en una forma especial que se encuentra disponible en la página de Internet del UNFCCC.
2. **Aprobación Nacional.** La realiza la Autoridad Designada de cada parte de la Convención, quien emite una carta en la que indica lo siguiente:
 - Que dicho país ha ratificado el Protocolo de Kyoto.
 - Que la participación es voluntaria

- Que el proyecto MDL presentado contribuye al desarrollo sustentable.
3. **Validación.** La lleva a cabo una entidad operacional designada (DOE, por sus siglas en inglés), un tercero que funge como certificador privado. Es un proceso de evaluación independiente del proyecto que tiene como objetivo verificar que se cumplan todos los requisitos que se piden en la forma de PDD para los MDL. Este proceso puede llevar mucho tiempo.
4. **Registro.** Lo lleva a cabo la Junta Ejecutiva de la UNFCCC después de que la DOE le envía el PDD que ha cumplido con todos los requisitos y ha sido, por lo tanto, aprobado. El registro es la aceptación formal, por parte de la Junta Directiva, de que un proyecto se puede considerar como MDL. Este es el prerrequisito para la validación, certificación y la expedición de los bonos de carbono (CER's). Los pasos para completar el registro son:
- Revisión de integridad del proyecto por la Secretaría de la UNFCCC.
 - Investigación de antecedentes por parte de la misma Secretaría.
 - Investigación de antecedentes por parte de la Junta Ejecutiva.
 - Si alguna parte o tres miembros de la Junta Ejecutiva solicitan una revisión, el proyecto se somete a ésta, si no es el caso, se procede al registro.

5. **Monitoreo.** El participante del proyecto es responsable del monitorear las emisiones actuales conforme a las metodologías aprobadas.
6. **Verificación.** Nuevamente, una DOE (diferente a la que realizó la validación del proyecto) verifica que se realice la reducción de emisiones en la cantidad referida por el participante del proyecto, de acuerdo con el plan de monitoreo aprobado. Una vez que la DOE se asegura que en el periodo estipulado se redujeron las emisiones antropogénicas de GEI que reporta el proyecto, emite un certificado.
7. **Expedición de CER's.** La DOE presenta el reporte de verificación con solicitud de expedición a la Junta Ejecutiva. El reporte se somete a una revisión de integridad por parte de la Secretaría de la UNFCCC, a la investigación de antecedentes por parte de la Secretaría de la UNFCCC y la Junta ejecutiva y puede someterse a revisión si alguna parte o tres miembros de la Junta Ejecutiva así lo solicitan. De no ser así se procede a la expedición de los CER's ³⁹.

Las transacciones de los CER's se definen como contratos compra-venta a través de los cuales, una parte paga a otra por concepto de reducción de las emisiones de GEI o por el derecho de liberar un determinado monto de emisiones de GEI a la atmósfera. Estos contratos son utilizados por el comprador para cumplir con sus objetivos de compromiso vinculados con la mitigación del cambio climático que se establecen en el protocolo de Kyoto y están disponibles en un nuevo mercado conocido como *Mercado de Carbono*.

En el año de 2008 este mercado alcanzó un valor total de transacción de € 86 millones de euros. Sin embargo a pesar de que el mercado de bonos de carbono ha llegado a generar transacciones por más de 30,000 millones de dólares, se considera como un mercado volátil, registrándose una disminución en el precio de la tonelada de CO₂.⁴

Se consultó la página en internet del “Intercambio de Energía Europeo” (European Energy Exchange), que es un grupo empresarial dedicado al mercado de la energía y sus productos, para la consulta de los valores actuales de los bonos de carbono. Para el día 12 de Junio de 2012, el valor de una tonelada de CO₂ fue de € 3.32. El mismo día, el tipo de cambio de pesos a Euros fue de \$17.7 por euro, por lo tanto, una tonelada de CO₂ tuvo un valor de \$58.7.

A continuación, en la figura 3, se esquematiza en un cuadro sinóptico todo el proceso de registro, monitoreo y validación de un MDL:

Fig. 3. Proceso de registro, monitoreo y validación de un MDL (Elaboración propia)



A principios de este siglo, una empresa llamada *AgCert* se encargó, en México, de financiar totalmente proyectos de biodigestión en granjas porcinas, así como también de gestionar los trámites necesarios para la expedición de los CER's, con la condición de recibir una proporción considerable de la venta de los bonos de carbono. Sin embargo, esta metodología no resultó rentable para esta empresa y, por lo tanto, en el 2008, aproximadamente, dejó de dar estos apoyos y se retiró del país.

Debido a la dificultad del trámite y a los altos costos que éste implica (contratación de la empresa especializada, verificaciones, monitoreos, etc.), lo que se realiza comúnmente en México es que se reúnen varios productores con la misma problemática y generan un solo PDD, facilitando el financiamiento al dividir los gastos entre todos los participantes de modo que, en el país se cuenta con 142 PDD con 563 sistemas de biodigestión, según el Diagnóstico realizado por la SAGARPA.

4.5. *Análisis de la opinión de los productores o de los MVZ encargados de la granja.*

Para realizar este análisis se realizó una encuesta a productores o médicos veterinarios encargados de granja, sobre la situación de las granjas en cuanto a tratamientos de efluentes. Se realizaron en total 45 encuestas, de las cuales 19 correspondieron a granjas sin biodigestor y 26 de productores con biodigestor. Se eliminaron 2 encuestas de las correspondientes a granjas con

biodigestor debido a falta de información referida. La mayoría de las encuestas se realizaron durante el XLVII Congreso Nacional AMVEC 2012, que se llevó a cabo en Guadalajara, Jalisco del 18 al 21 de Julio de 2012, el resto de las encuestas se realizaron una parte por teléfono a productores que se encontraron en el padrón de Empresas de Biodigestores del proyecto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de FIRCO que se encuentra en Internet y la otra directamente a propietarios de granja en la reunión mensual del AMVEC del Estado de México.

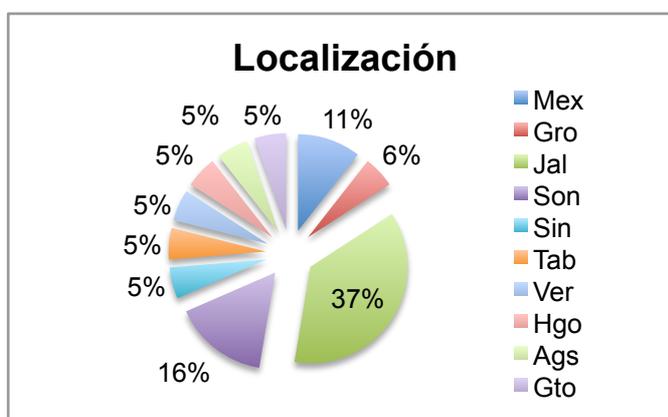
A continuación se muestran las preguntas y los resultados de esta encuesta, resumidos en gráficas de pastel:

4.5.1. Granjas que no cuentan con sistema de Biodigestión.

- **Localización de las unidades productivas**

La mayoría de los encuestados que declararon trabajar en granjas que no poseen un sistema de biodigestión fueron MVZ que acudieron al evento en Guadalajara, provenientes del mismo estado, aparentemente patrocinados por los dueños de las granjas jaliscienses. Las granjas ubicadas en Jalisco (Gráfica 1) son de menor tamaño, con un bajo grado de tecnificación lo que pudiera explicar su falta de inversión en biodigestores.

Estado	Granjas
Edo de México	2
Guerrero	1
Jalisco	7
Sonora	3
Sinaloa	1
Tabasco	1
Veracruz	1
Hidalgo	1
Aguascalientes	1
Guanajuato	1

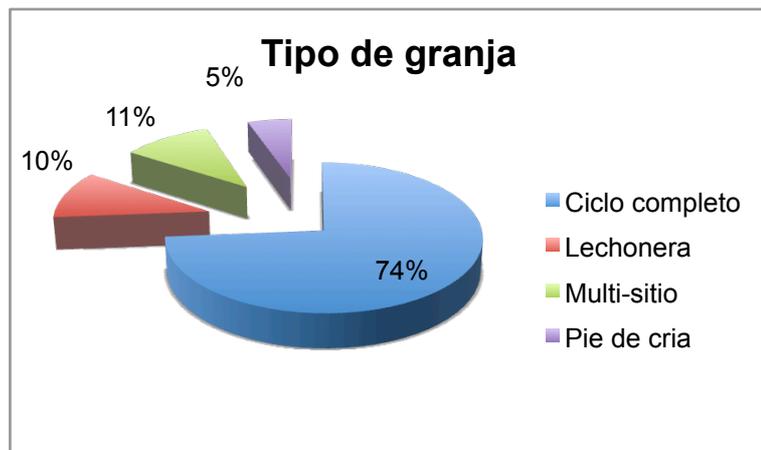


Gráfica 1

- **Tipo de producción**

El tipo de producción más común de las granjas encuestadas fue el de ciclo completo (Gráfica 2), siendo menos frecuentes las granjas lechoneras, las de multi-sitio y las de pie de cría. Las dos últimas requieren mayores inversiones que las anteriores.

Tipo de Granja	Granjas
Ciclo completo	14
Lechonera	2
Multi-sitio	2
Pie de cría	1

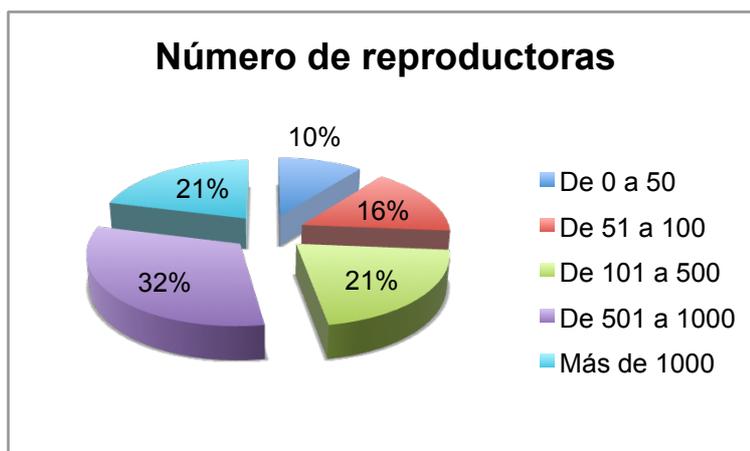


Gráfica 2

- **Número de reproductoras**

El número de reproductoras es un indicador directo del tamaño de la granja (ver gráfica número 3), sin embargo no es un indicador de adopción de la tecnología, pues se encontró que la mayoría de las granjas en esta categoría “sin biodigestor”, son granjas de más de 500 hembras. Se podría asumir que estas granjas tienen suficiente potencial como para construir un biodigestor. En contraste 4 granjas con más de 1000 hembras no poseen dicha tecnología, e incluso una de ellas, de 5,100 hembras, refiere no conocer siquiera una tecnología o método de tratamiento de efluentes.

Número de vientres	Granjas
De 0 a 50	2
De 51 a 100	3
De 101 a 500	4
De 501 a 1000	6
Más de 1000	4

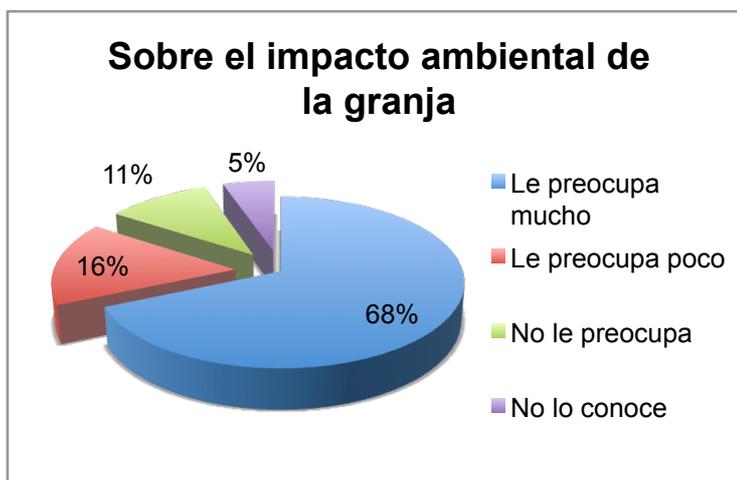


Gráfica 3

- **Interés en el impacto ambiental de su granja**

La gráfica 4 muestra que la mayoría refiere estar muy preocupado por el impacto ambiental de su producción, si embargo, al observar la gráfica número 5 sobre tratamiento del agua, se observa que la mayoría no posee algún sistema de tratamiento, lo que resulta contradictorio o bien representa una negativa a invertir por varias causas posibles entre las que destacan la difícil situación económica de sus granjas y el desconocimiento de los apoyos disponibles.

El impacto ambiental	Granjas
Le preocupa mucho	13
Le preocupa poco	3
No le preocupa	2
No lo conoce	1

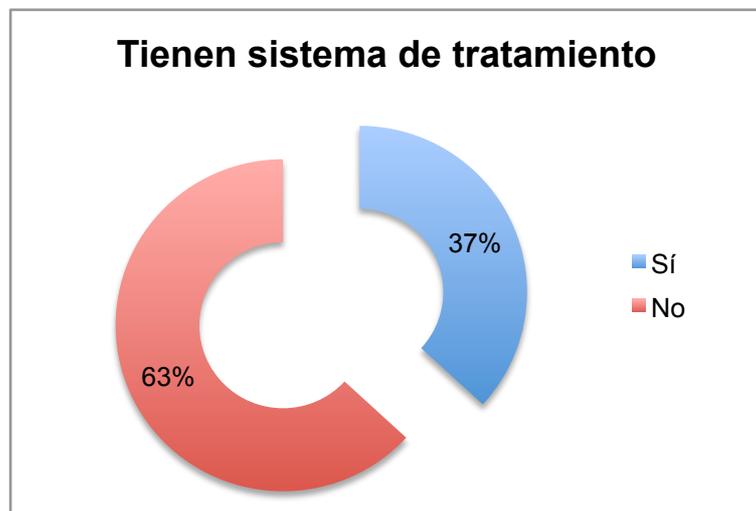


Gráfica 4

- **Operación de un sistema de tratamiento de efluentes en su granja**

La mayoría de las granjas no poseen sistemas de tratamiento de efluentes, sin embargo, como se observa en la gráfica 6, la gran mayoría estaría dispuesta a invertir en un tratamiento. Esto nos indica la falta de información acerca de tratamientos de efluentes o bien, de una falta de oferta tecnológica por parte del sector agroindustrial para producciones en pequeña escala, aunque cabe destacar que 10 de las granjas encuestadas poseen más de 500 hembras.

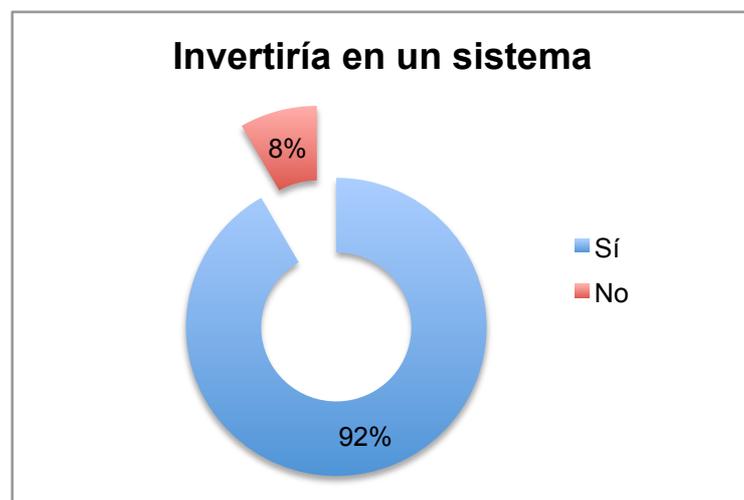
Sí	7
No	12



Gráfica 5

- **Si no cuenta con un sistema de tratamiento, ¿invertiría en uno?**

Sí	11
No	1

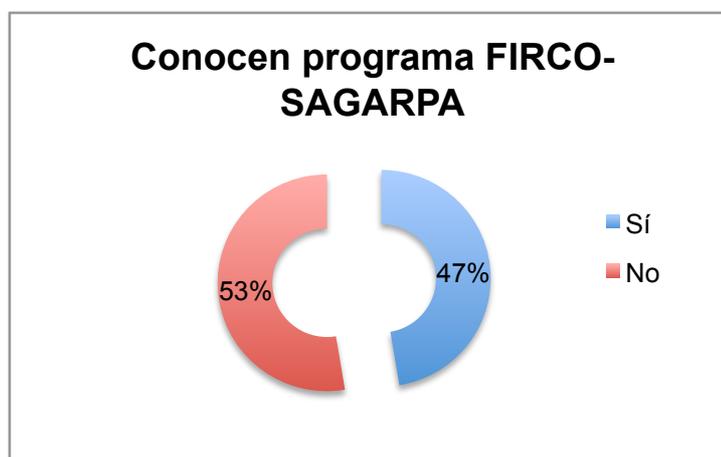


Gráfica 6

- **Conocimiento del programa de FIRCO-SAGARPA**

En este punto, cabe recalcar que de las 10 personas que no conocen el programa (Gráfica 7), 6 tienen producciones de por lo menos 400 hembras, siendo la granja más grande aquella de 5,100 hembras que menciona no conocer algún sistema de tratamiento de efluentes. Esto quiere decir que, aunque el universo de apoyo del programa es reducido, la información no está llegando a la totalidad de los posibles beneficiarios.

Sí	9
No	10



Gráfica 7

- **Opinión sobre el programa de FIRCO-SAGARPA**

La mayoría de los productores que conocen el programa de FIRCO y que no han pedido el apoyo, opinan que el desembolso que tendrían que efectuar sigue siendo muy elevado (Gráfica 8), incluso algunos mencionaron que se pueden encontrar mejores precios fuera del programa.

Opinión	Menciones
Costos altos	4
Falta de promoción	1
Bueno	2
No opinó	2

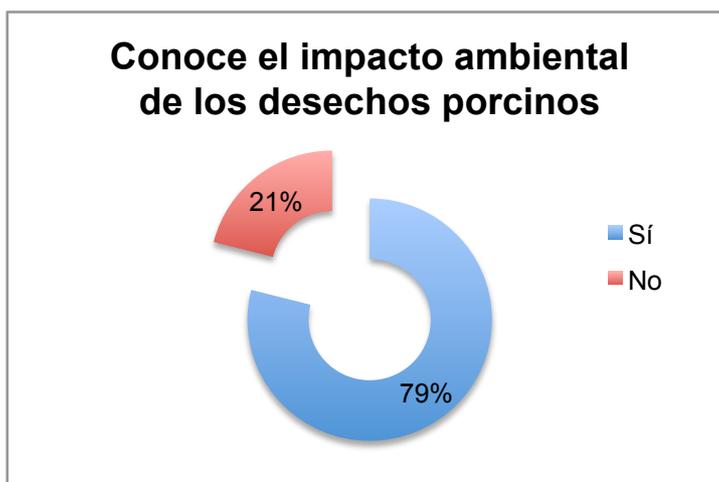


Gráfica 8

- **Conocimiento sobre el impacto ambiental de los desechos porcinos de su granja**

Si bien la mayoría de los encuestados conocen el impacto ambiental de los desechos de su granja (Gráfica 9) y dicen estar preocupados por dicho impacto y además estarían dispuestos a invertir en un sistema de tratamiento, ¿por qué razón la mayoría no cuenta con un sistema de este tipo? Con esta información lo más probable es que no habiendo claridad en la normatividad, ni supervisión para su cumplimiento los dueños de las granjas decidan diferir dicha inversión. No se excluyen otras barreras que limiten la adopción de biodigestores como son la falta de información sobre las tecnologías existentes, fallas en la difusión del programa de FIRCO, así como una escasa oferta de tecnologías atractivas para los porcicultores.

Sí	15
No	4

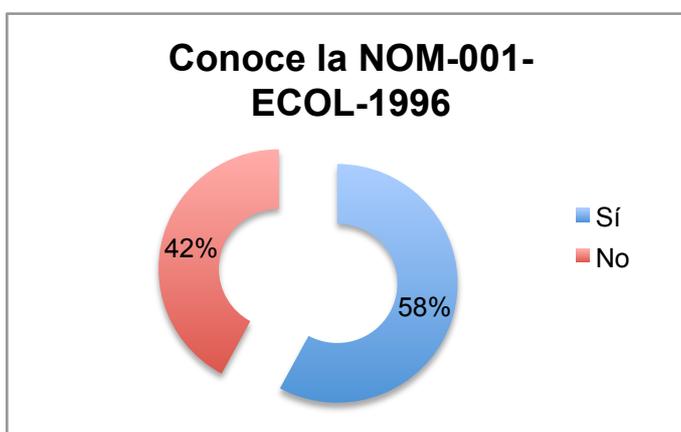


Gráfica 9

- **Conocimiento de la NOM-001-ECOL-1996**

La mayoría de los encuestados dice conocer la norma que regula las descargas de agua al medio ambiente como muestra la gráfica 10, no obstante, en la gráfica 11 se puede apreciar que la mayoría desconoce las multas que impone la CONAGUA a quienes no cumplen con los valores establecidos en la norma. Se esperaría que también conocieran las consecuencias derivadas de no acatar la normativa. Además de que la misma norma establece el plazo en el que se ha de cumplir con ella, mismo que venció en 2010.

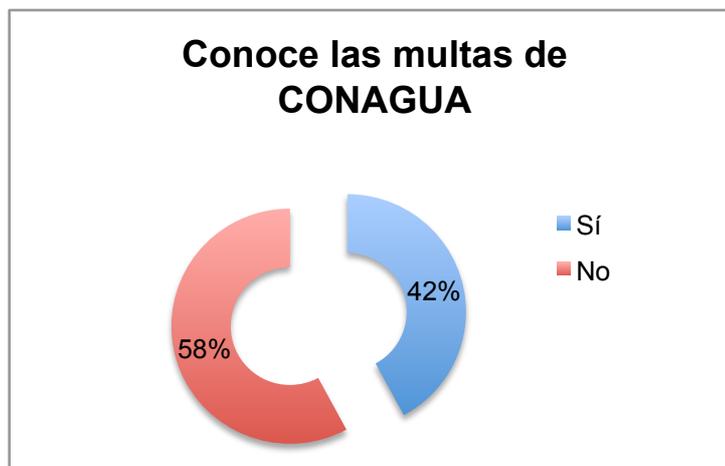
Sí	11
No	8



Gráfica 10

- **Conoce las multas de CONAGUA por liberar descargas no permitidas en cuerpos de agua propiedad de la nación.**

Sí	8
No	11

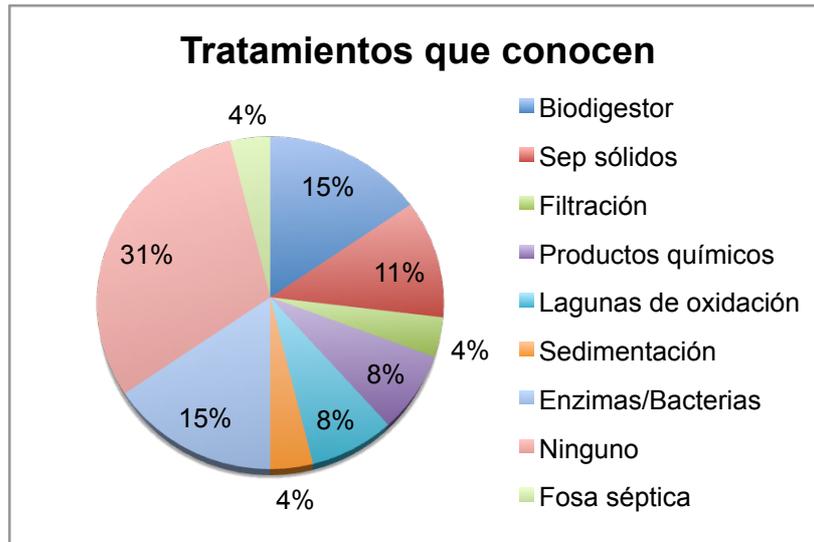


Gráfica 11

- **Conocimiento de sistemas de tratamiento.**

En la gráfica número 12 sobresale que, aunque la muestra es muy pequeña, la mayoría no conoce algún sistema de tratamiento. Esto refuerza, aún más, la idea de que hay una falta de información en el tema de tecnologías disponibles, incluso dentro del gremio de los médicos veterinarios, quienes fueron, en su mayoría, los que respondieron a estas encuestas. Los encuestados podían responder más de una opción

Sistema	Menciones
Biodigestor	4
Separador de sólidos	3
Filtración	1
Prod. Químicos	2
Lagunas	2
Sedimentación	1
Enzimas o Bacterias	4
Fosa séptica	1
Ninguno	8

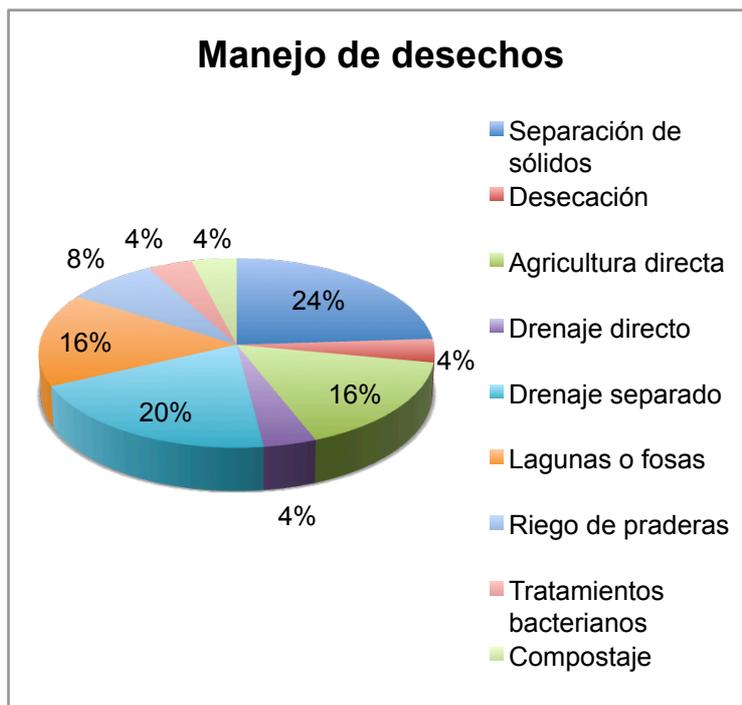


Gráfica 12

- **Manera en la que realizan el manejo de desechos.**

A partir de las respuestas anteriores y de las que se muestran en la gráfica 13, queda claro que los desechos siguen vertiéndose en los campos agrícolas o en el drenaje, con muy pocos o nulos tratamientos previos y que los manejos que se realizan más comúnmente disminuyen muy poco el impacto de los desechos en el medio, evidenciando la urgente necesidad de nuevas y mejores tecnologías, además de mayor difusión e información acerca del problema ambiental que se causa.

Manejo	Menciones
Separación de sólidos	6
Desecación	1
Agricultura directa	4
Drenaje directo	1
Drenaje separado	5
Lagunas o fosas	4
Riego de praderas	2
Tratamientos bacterianos	1
Compostaje	1



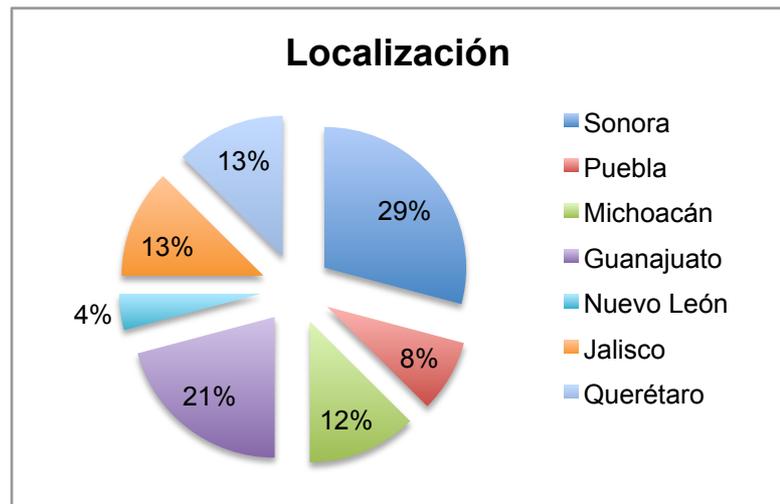
Gráfica 13

4.5.2. Productores que cuentan con un sistema de biodigestión en sus granjas

- **Localización de las granjas.**

La gráfica número 14 muestra que la tecnología de biodigestores y de generación de energía eléctrica se está difundiendo en el país, ya que los respondientes no se circunscriben a los estados de Sonora y Guanajuato que concentran la mayoría de las grandes granjas tecnificadas que suelen utilizar dichas tecnologías. Además, hay que mencionar que el tamaño de muestra es muy pequeño y que no se encuestaron productores o médicos veterinarios encargados de granjas en estados donde la aplicación de esta y otras tecnologías se está haciendo de manera importante, como Veracruz o Yucatán.

Estado	Granjas
Sonora	7
Puebla	2
Michoacán	3
Guanajuato	5
Nuevo León	1
Jalisco	3
Querétaro	3

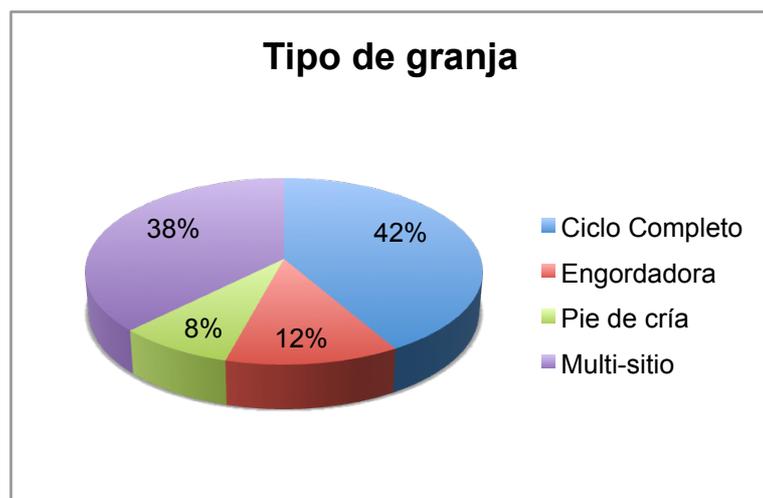


Gráfica 14

- **Adopción de tecnología por tipo de producción**

De las granjas con tecnologías medioambientales la mayoría correspondió a las de ciclo completo (Gráfica 15), seguidas cercanamente por la multisitio que son las que requieren mayores inversiones y que cuentan con mayor grado de tecnificación. Puede señalarse que las granjas de pie de cría, también poseen mayor tecnificación que el promedio de las granjas en el país

Tipo de Granja	Granjas
Ciclo completo	10
Engordadora	3
Multi-sitio	9
Pie de cría	2

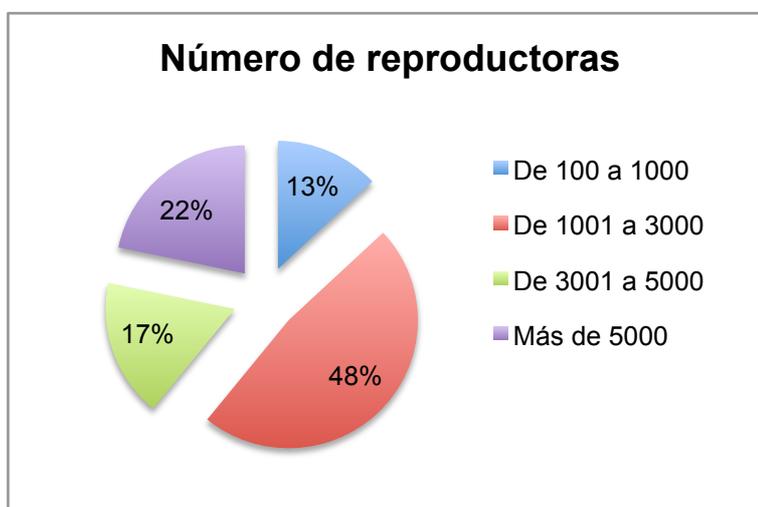


Gráfica 15

- **Número de reproductoras.**

De acuerdo al número de hembras reportados se constata que las granjas encuestadas son de gran tamaño, de entre 1,000 y 3,000 hembras, habiendo algunas de más de 5,000, siendo la más grande una con 80,000 (Gráfica 16). Con esto nos podemos dar una idea de las mega empresas que conforman este grupo de granjas con biodigestores, la mayoría son empresas consolidadas que poseen más de una granja y que, además comercializan otros productos animales como huevo o pollo. Sin embargo también existen las granjas pequeñas que poseen la tecnología, siendo la más pequeña de las encuestadas una con 160 vientres, lo que muestra que también los medianos productores pueden la adquirir tecnología medioambiental.

Número de vientres	Granjas
De 100 a 1000	3
De 1001 a 3000	11
De 3001 a 5000	4
Más de 5000	5

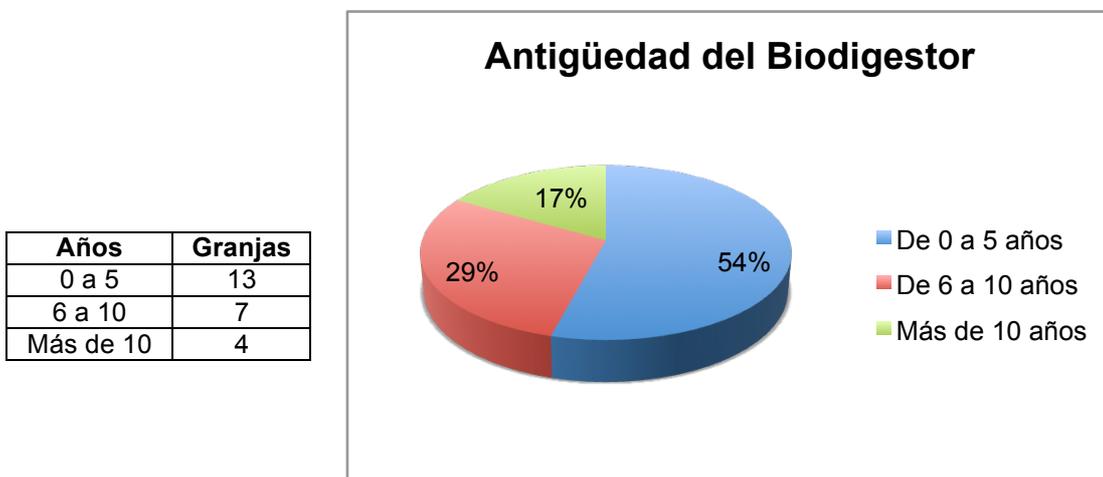


Gráfica 16

- **Antigüedad del biodigestor**

En la gráfica 17 se puede observar que la mayoría de los biodigestores son relativamente nuevos, con una antigüedad menor o igual a cinco años, que es más o menos el tiempo que tiene el programa de FIRCO operando. Los

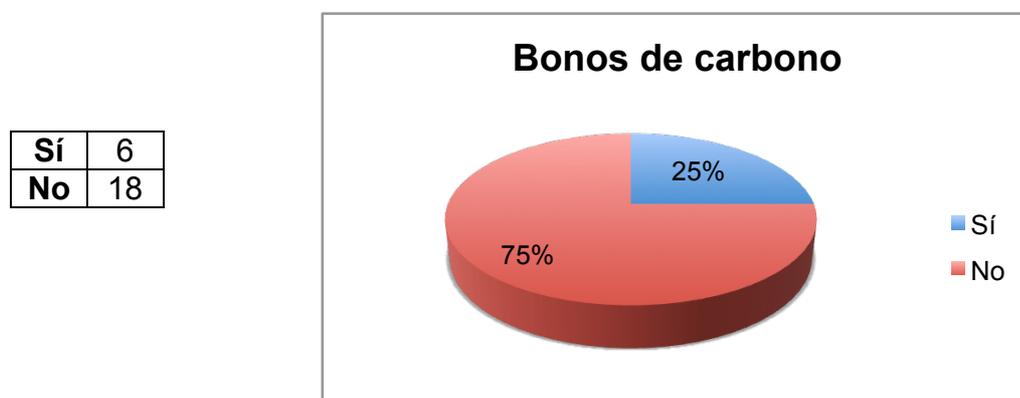
biodigestores más viejos son los que fueron apoyados por el programa de AgCert e incluso algunos que fueron instalados sin el apoyo de ninguna institución u organización de fomento.



Gráfica 17

- **Comercialización de bonos de carbono**

Sólo seis de los encuestados mencionaron estar en el mercado de bonos de carbono (Gráfica 18) y esto responde al hecho de que es muy difícil acceder a este beneficio: se necesita una inversión considerable y el tiempo de registro de los proyectos es muy largo, por lo que los productores o no se interesan o bien desisten en su intento. Otro de los factores para que no haya muchos productores comercializando bonos de carbono es que no hay suficiente difusión acerca de esta oportunidad entre los productores.

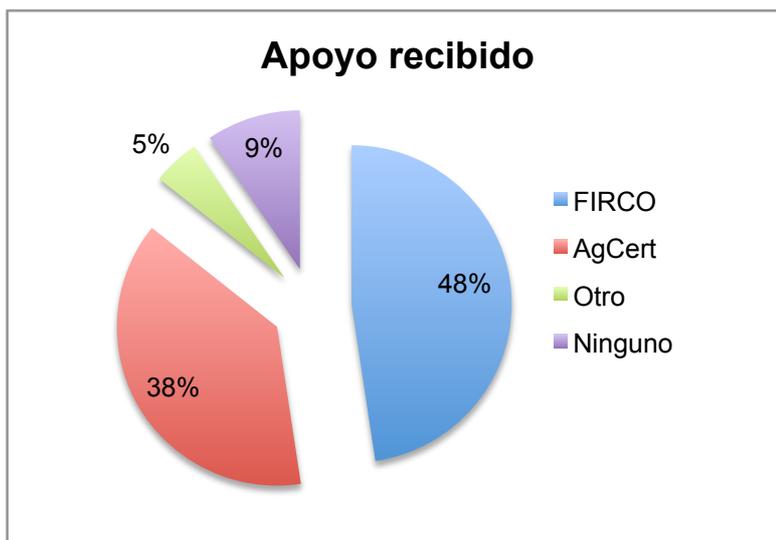


Gráfica 18

- **Apoyos recibidos**

La mayoría de los apoyos fueron proporcionados por el programa de SAGARPA-FIRCO (Gráfica 19), sin embargo una buena proporción también menciona haber sido apoyada por la empresa AgCert, quien les dejó el sistema después de que fracasara su proyecto de establecerse en el país.

Apoyo	Granjas
FIRCO	10
AgCert	8
Otro	1
Ninguno	2



Gráfica 19

- **Facilidad en el apoyo de SAGARPA- FIRCO**

Quienes obtuvieron el apoyo de FIRCO (Gráfica 20), mencionan que fue complicado el trámite para recibir el apoyo, principalmente criticaron el trámite burocrático que hay que realizar.

Fácil	3
Complicado	6
Muy complicado	1



Gráfica 20

- **Rapidez en la decisiones de apoyo de SAGARPA- FIRCO**

Sin embargo, a pesar de pensar que el trámite no es sencillo, la mayoría de los encuestados, que recibieron el apoyo de FIRCO (Gráfica 21), comentan que el trámite fue rápido

Rápido	7
Lento	3

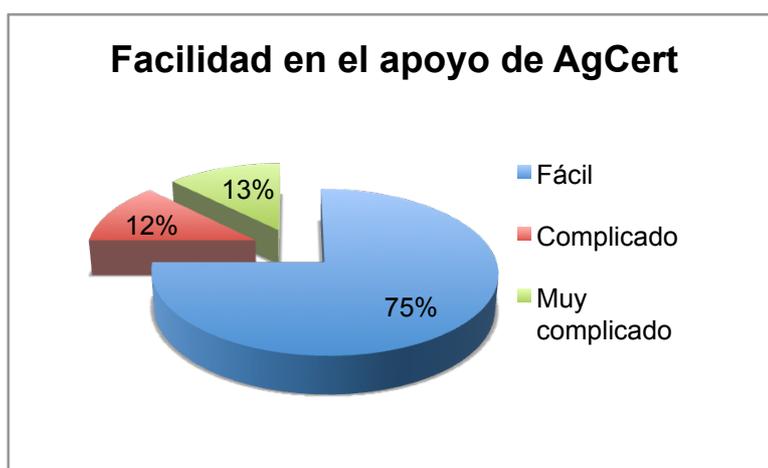


Gráfica 21

- **Facilidad en el apoyo de AgCert**

Por el contrario, quienes recibieron el apoyo de la empresa Agcert (Gráfica 22), mencionaron que el trámite fue fácil y también rápido, como se puede apreciar también en la gráfica número 23.

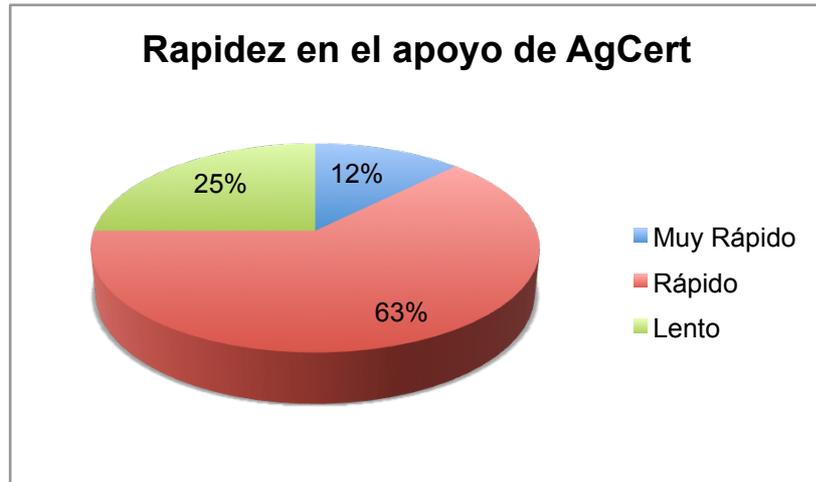
Fácil	6
Complicado	1
Muy complicado	1



Gráfica 22

Rapidez en el apoyo de AgCert

Muy rápido	1
Rápido	5
Lento	2

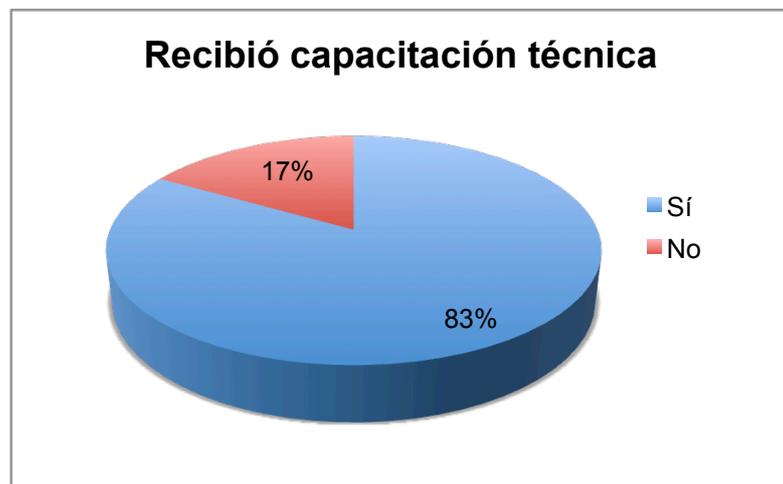


Gráfica 23

- **Capacitación técnica para la operación del biodigestor**

La gran mayoría de los encuestados que han instalado un biodigestor en su granja señalan haber recibido la capacitación técnica necesaria para el correcto funcionamiento y mantenimiento del sistema (Gráfica 24).

Sí	20
No	4



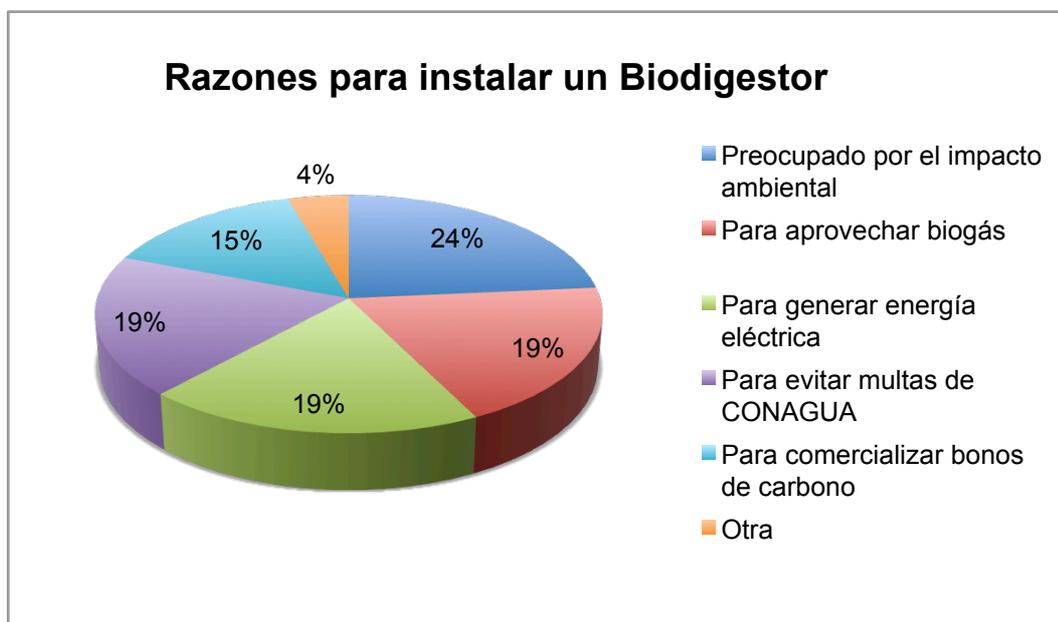
Gráfica 24

- **Razones por las que instalaron equipo biodigestor**

En esta pregunta los encuestados podían escoger más de una opción de las ofrecidas, siendo la más frecuente la referente a la preocupación por el

impacto ambiental (Gráfica 25). Los que eligieron otras razones mencionaron la eliminación de olores y fauna nociva y para evitar las quejas de la comunidad cercana.

Razón	Menciones
Preocupado por el impacto ambiental	16
Para aprovechar biogás	13
Para generar energía eléctrica	13
Para evitar multas de CONAGUA	13
Para comercializar bonos de carbono	10
Otra	3

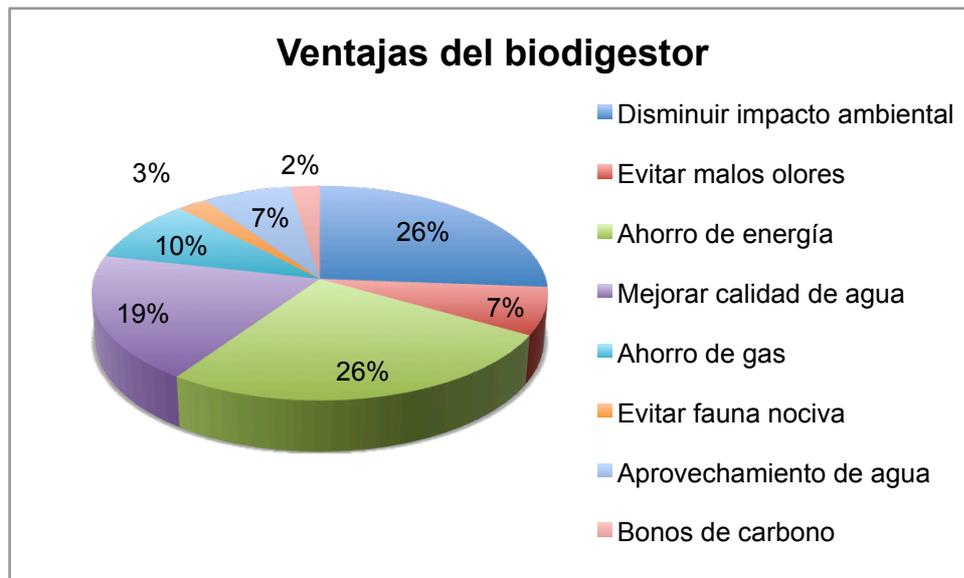


Gráfica 25

- **Ventajas de haber instalado un biodigestor**

La ventaja más mencionada en la encuesta fue la de disminuir el impacto ambiental de la granja (ver cuadro y gráfica número 26). Con el mismo número de menciones se encuentra la del ahorro de energía, seguida por el mejoramiento en la calidad de agua, que se traduce en el ahorro de las multas de CONAGUA.

Ventaja	Menciones
Disminuir impacto ambiental	11
Evitar malos olores	3
Ahorro de energía	11
Mejorar calidad de agua	8
Ahorro de gas	4
Evitar fauna nociva	1
Aprovechamiento de agua	3
Bonos de carbono	1

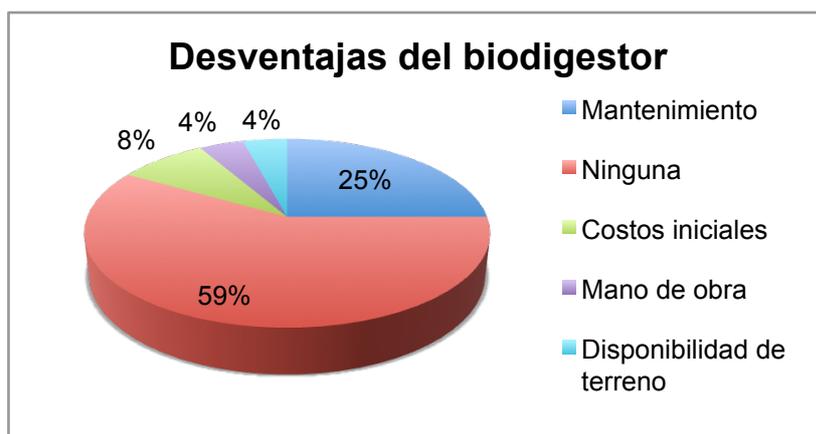


Gráfica 26

- **Desventajas del biodigestor**

La mayoría de los encuestados no encuentra ninguna desventaja en el uso de los biodigestores, aunque que 25% opina que el mantenimiento de los mismos es difícil o muy costoso (Cuadro y Gráfica número 27).

Desventaja	Menciones
Mantenimiento	6
Ninguna	14
Costos iniciales	2
Mano de obra	1
Disponibilidad de terreno	1

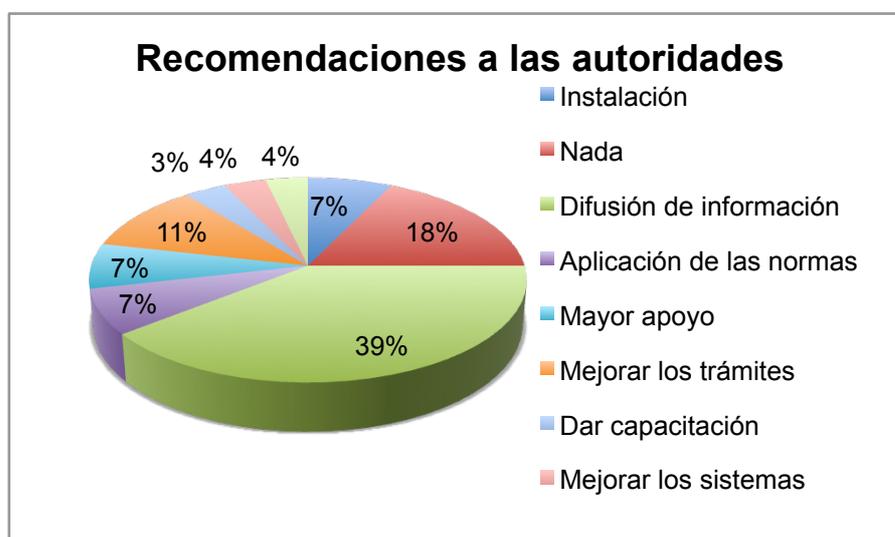


Gráfica 27

- **Recomendaciones a las autoridades**

La opinión generalizada de los encuestados es que hace falta difusión de la información sobre estos sistemas (Cuadro y Gráfica 28), sus ventajas y bondades, y sobre las facilidades con las que se cuenta para su instalación

Recomendación	Menciones
Mayor instalación de los sistemas	2
Nada	5
Difusión de información	11
Efectiva aplicación de las normas	2
Mayor apoyo	2
Mejorar los trámites	3
Dar capacitación	1
Mejorar los sistemas	1
Congruencia con CONAGUA	1



Gráfica 28

5. CONCLUSIONES.

- A) En México, la producción porcina es muy heterogénea en tamaño y en niveles de tecnificación. En un extremo se tienen empresas con miles de hembras y uso de tecnología avanzada hasta las pequeñas producciones con bajos niveles de manejo y uso de tecnologías. Desde luego el tamaño de las granjas no es determinante del grado de tecnificación.
- B) Los efluentes porcinos sin tratar tienen diversos efectos adversos para el ambiente, por ejemplo:
- a. Contaminación de mantos freáticos y cuerpos de agua con nitrógeno, fósforo y metales pesados.
 - b. Contaminación de mantos freáticos y cuerpos de agua con agentes infecciosos.
 - c. Contribución al efecto invernadero con metano y óxido nitroso, principalmente.
 - d. Generación de fauna nociva que puede convertirse en un riesgo sanitario para la propia granja.
 - e. Altos niveles de amoníaco dentro de las instalaciones y corrales pueden causar una predisposición a enfermedades del tracto respiratorio en los cerdos y en el personal de la granja.
- C) A pesar de que los grandes productores poseen la mitad del inventario porcino, representan un porcentaje muy reducido de las granjas en el país, por lo que se tiene un sector muy grande de granjas que representan un impacto potencial al medio ambiente aun mayor.

- D) Esto también se debe a que los grandes productores tienen más recursos disponibles para la puesta en marcha de tecnologías ambientales en sus granjas, como sistemas lagunares, biodigestores, filtros, biorremediación, entre otros.
- E) La tecnología más difundida por las instituciones gubernamentales son los biodigestores, que tienen las siguientes ventajas:
- a. Generación de biogás a partir de la digestión anaeróbica de la materia orgánica contenida en las heces de los cerdos.
 - b. A partir del biogás, aprovechamiento del mismo para el calentamiento de lechoneras y destetes, para cocinar alimentos y como combustible para vehículos.
 - c. Generación de energía eléctrica a partir del biogás, permitiendo ahorros de este servicio para la granja.
 - d. Reducción de la fauna nociva.
 - e. Disminución de la presencia de agentes infecciosos.
 - f. Reducción de malos olores.
 - g. Obtención de lodos y agua con alto contenido de nitrógeno, para su uso moderado en la agricultura o para compostaje.
- F) Para paliar el impacto negativo de la porcicultura en aguas y atmósfera, el poder legislativo emitió la NOM-001-ECOL-1996, que no es específica para estos efluentes, pero los incluye. Sin embargo, en la norma se especifica el plazo con el que cuentan los poricultores para cumplir con los valores y el plazo venció en 2010; esto quiere decir que a, a la fecha, todas las descargas de aguas residuales que se realizan a los bienes de

la nación deben cumplir con los parámetros que indica la norma, sin embargo, no sucede así.

- G) Los sistemas de tratamiento por separado no son lo suficientemente eficientes como para cumplir con los parámetros establecidos en la norma, por lo que es necesario contar con un programa de tratamiento integral, que incluya varias tecnologías, para poder cumplir con los límites máximos permisibles indicados.
- H) La SAGARPA, en un esfuerzo por promover sistemas de producción más limpios, elaboró el Proyecto de Apoyo al Valor Agregado de Agronegocios, el cual incluye la construcción de Biodigestores e implantación de sistemas de energía renovable y de eficiencia energética que se opera a través de FIRCO.
- I) Se sabe que para el año 2011, dicho programa ha promovido la instalación de 154 biodigestores en todo el país, de un total de 721 biodigestores que operan en el país. Los 567 restantes fueron instalados bajo los esquemas de PDD's y M2M. Desde luego, se ha instalado un número desconocido de biodigestores que han sido instalados por iniciativa y cuenta de los productores fuera de los esquemas mencionados.
- J) FIRCO ha apoyado para la construcción del 21.3% del total de biodigestores instalados en todo el país en los esquemas gubernamentales.
- K) Como resultado de las encuestas y entrevistas hechas, podemos señalar que:

- a. El número de reproductoras no está relacionado con la adopción de tecnologías para el manejo de efluentes, pues se encontraron granjas con más de 400 hembras que no poseen tecnologías de este tipo y granjas de menor tamaño que sí los tienen.
- b. Los productores conocen el impacto de sus granjas, están interesados en reducirlas y estarían dispuestos a invertir en una tecnología. Sin embargo, se requiere de mayor difusión información acerca de las tecnologías disponibles, desarrollo de tecnologías más atractivas y de apoyos mejor canalizados para que se decidan a hacerlo.
- c. El programa de apoyo a la adquisición de biodigestores de FIRCO no ha sido difundido con la amplitud requerida. La mayoría de los productores que no lo conocen tienen granjas de más de 400 vientres.
- d. En general, hay una falta de información sobre las tecnologías disponibles para reducir el impacto ambiental de los efluentes porcinos.
- e. Los productores que conocen el programa y no lo han utilizado refiere que los costos son aún muy elevados.
- f. Existe una reducida oferta tecnológica de biodigestores; la oferta actual se enfoca a la gran producción, virtualmente no hay equipos para las pequeñas granjas. A este respecto, el Instituto de Ingeniería de la UNAM cuenta con un proyecto específico el cual se encuentra en la fase de desarrollo.

- g. La mayoría de los productores que han instalado biodigestores en sus granjas se encuentran satisfechos con el sistema y no refieren desventajas en el mismo.
- h. No obstante, algunos productores de cerdo refirieron problemas de ajuste entre el tamaño y características de los biodigestores y la cantidad de efluentes producidos en la granja.
- i. Existe una falta de claridad en la normatividad existente, así como también de supervisión de la misma. Por lo que resulta fácil y cómodo para los productores el ignorarla y seguir con las malas prácticas de desecho de efluentes. Esta es quizás la principal razón que explica la baja tasa de adopción de tecnologías ambientales en las granjas porcinas que urgentemente requiere la producción porcina del país.

L) En la Figura 4, que se muestra a continuación, describe los componentes y sus interacciones que integran el aún incipiente “sistema de producción porcina sustentable”. Este esquema pretende ofrecer una visión de conjunto de la problemática ambiental y de sus vías de solución. A partir de esta visión de conjunto se derivan las siguientes recomendaciones.

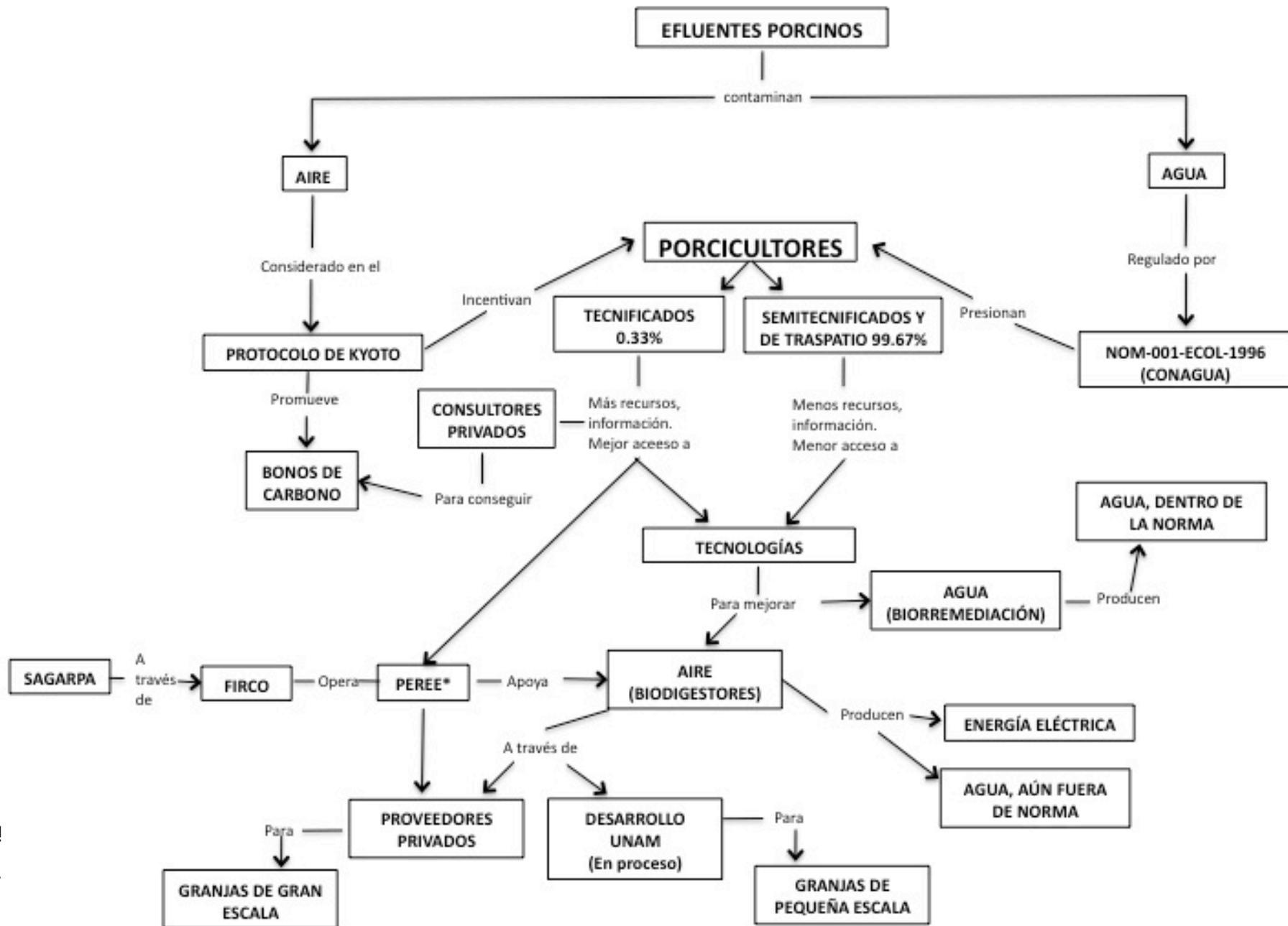


Fig. 4

6. RECOMENDACIONES.

- A) Definitivamente el Gobierno Federal tendría que garantizar el cumplimiento de la norma que comprende a los efluentes de granjas porcícolas. Ello implica no sólo la voluntad política para hacerlo sino también asegurar la coordinación entre CONAGUA, SAGARPA, los gobiernos estatales y municipales y las asociaciones de porcicultores en el país, como el Consejo Mexicano de Porcicultura.
- B) Corresponde también al Gobierno Federal apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico de nuevos esquemas y equipos para reducir drásticamente el impacto ambiental negativo de los efluentes y desechos porcícolas. Se trata de generar y comercializar biodigestores apropiados a la pequeña producción.
- C) La SAGARPA y las entidades federativas tendrían que diseñar esquemas que incentiven la adopción de las mencionadas tecnologías particularmente reduciendo el costo y ofreciendo créditos atractivos de mediano plazo, de por lo menos cinco años.
- D) En paralelo se tendría que realizar un esfuerzo más amplio de comunicación entre las asociaciones de productores sobre los programas y equipos. También sería importante asegurar que las compañías proveedoras proporcionen el servicio y la capacitación que pudieran ser necesarias para el manejo de los equipos.
- E) Sería deseable que en la formación de las nuevas generaciones de Médicos Veterinarios Zootecnistas se haga más consciencia sobre las

consecuencias ambientales de las producciones animales de modo que prioricen la sustentabilidad, es decir el uso responsable de los recursos naturales.

- F) Convendría que las instituciones públicas realizaran un estudio de este tipo a una escala mayor, para así poder tener una visión más generalizada de la situación del país y poder tomar mejores decisiones en cuanto a las mejoras que deben realizarse a los programas.

7. REFERENCIAS.

1. SAGARPA *Situación actual y perspectivas de la producción de carne de porcino en México, 2009*. Coordinación General de Ganadería.
2. SIAP-SAGARPA. *Sistema de Información Agroalimentaria y pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación* [en línea]. Estadística pecuaria. <http://www.sagarpa.gob.mx/siap>. Consultado el 21 Feb 2012.
3. Navarrete, NJ; Trueta, SR; Finck, VB; Barranco, VB; Osorio, HE; Lecumberri, LJ. *Impactos del nivel tecnológico en la eficiencia productiva y variables económicas, en granjas porcinas de Guanajuato, Jalisco, Sonora y Yucatán, México*. Técnica Pecuaria México. 2009; 47(2): 157-172.
4. Escalera, M.; Padilla, E. ; García, A. *Un estudio empírico sobre los proyectos MDL en granjas porcícolas*. Observatorio de la Economía Latinoamericana [recurso en línea]. 2010. N° 129. Consultado el 4 de Noviembre de 2011
Disponibile en
<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2010/cbs.htm>.
5. Coma, J. ; Bonet, J. *Producción ganadera y contaminación ambiental*. Producción animal. 2004. ISSN 1578-1526. 20(213): 55-66

6. Speir, J., et. al. *Análisis comparativo de las normas para las operaciones de ganadería intensiva en Canadá, Estados Unidos y México*. Comisión para la Cooperación Ambiental. 2003. Canadá.

7. Pérez, R. *Porcicultura y contaminación del agua en La Piedad, Mich.* Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 2001. ISSN 0188-4999. 17(001): 5-13.

8. Escalante, V.; Alarcón, D. *Tratamiento de efluentes porcícolas en lagunas de estabilización*. En memorias del XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2000. Porto Alegre, Brasil.

9. Cervantes, F.; Saldívar-Cabrales, J.; Yescas, J., F. *Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 2007; 3(1): 3-12.

10. Escalante, V. *Tratamiento de efluentes de una granja porcícola en el Estado de Campeche*. En memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2002. Cancún, México. Octubre.

11. Hernández, L. (Comp.) *Historia Ambiental de la Ganadería en México*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. 2001. 276 p.p.

12. *El agua en México* [en línea]. Pronatura México A.C. Disponible en: http://www.pronatura.org.mx/agua_mexico.php Consultado el 12 de Noviembre de 2011.
13. Perez, R. *Granjas porcinas y Medio Ambiente: Contaminación del agua en La Piedad, Michoacán*. Plaza y Valdez. 2006. México.
14. Harris, D. L. *Multi-site pig production*. Iowa State University Press. 2000 EUA.
15. FAO. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. 2006. Roma.
16. Koneswaran, G, Nierenberg, D. *Global Farm Animal Production and Global Warming: Impacting and Mitigating Climate Change*. Environmental Health Perspectives. 2008; 5: 578-582.
17. World Water Council [página de internet]. *Water crisis*. 2010. Disponible en: www.worldwatercouncil.org/index.php?id=25 Consultado el 13 de Diciembre de 2011
18. Natural Resources Defense Council (NRDC). *Facts about pollution from Livestock Farms*. 2011. Disponible en: www.nrdc.org/water/pollution/ffarms.asp Consultado el 13 de Diciembre de 2011

19. Bhumbla, DK. *Agriculture Practices and Nitrate Pollution of Water*. West Virginia University Extension Service. 2005. Disponible en: www.caf.wvu.edu/~forage/nitratepollution/nitrate.htm Consultado el 15 de Diciembre de 2011
20. Pérez, ER. *Porcicultura intensiva y medio ambiente en México*. Revista mundial de Zootecnia [en línea]. 1999/1. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x1700t/x1700t03.htm>. Consultado el 20 de enero de 2012.
21. Franco, MR. *Evaluación de la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (lagunas de estabilización) en el estado de Sonora (tesis de licenciatura)*. Hermosillo (Sonora) México: Universidad de Sonora, 1994.
22. Rodríguez, SJ. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades (tesis de licenciatura)*. Hermosillo (Sonora) México: Universidad de Sonora, 2008.
23. Escalante, EE; Alarcón, HD. *Tratamiento de Efluentes Porcícolas en Lagunas de Estabilización*. En memorias del XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre, Brasil. 2000.
24. LEY DE AGUAS NACIONALES. Ley Pub.Num. 016. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de Diciembre de 1992. Última reforma publicada en DOF el 18 de abril del 2008.

25. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, SAGARPA. *Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario*. Revista Claridades Agropecuarias. 2007; 168: 3-40.
26. Fideicomiso de Riesgo Compartido. *Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México*. SAGARPA. México 2011.
27. U.S. Environmental Protection Agency. *Livestock Manure Management*. U.S. Methane Emissions 1990-2020: Inventories, Projections and Reduction Opportunities. 1999.
28. Ayala, RR. *Influencia de la carga hidráulica superficial en un reactor de lecho fijo alimentado con efluentes porcinos (tesis de maestría)*. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México. 2007.
29. De Victorica, AJL; Galván, GM; Ayala, RR. *Sustainable Management of Effluents from Small Piggery Farms in México*. American Journal of Environmental Sciences. 2008. 4 (3): 171 – 174.
30. Vanotti, MB; Szogi AA; Vives CA. *Greenhouse gas emission reduction and environmental quality improvement from implementation of aerobic waste treatment Systems in swine farms*. Waste Management. 2008; 28: 759 – 766.

31. Vanotti, MB; Szogi, AA; Millner, PD; Loughrin, JH. *Development of a second-generation, environmentally superior technology for treatment of swine manure in the USA*. Bioresource Technology. 2009; 100: 5406 – 5416.
32. Arias, MSA; Betancur, TFM; Gómez, RG; Salazar, GJP; Hernández, AML. *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. Informador Técnico (Colombia). 2010. 74: 12 – 22.
33. Xian, Q; Hu, L; Chen, H; Chang, Z; Zou, H. *Removal of nutrients and veterinary antibiotics from swine wastewater by a constructed macrophyte floating bed system*. Journal of Environmental Management. 2010 (21): 2657 – 2661.
34. Arroyave, MP. *La lenteja de agua (Lemna minor L): Una planta acuática promisoría*. Revista EIA. 2004 (1): 33 – 38.
35. Vidali, M. *Bioremediation: An overview*. Pure Applied Chemistry. 2001. 73 (7): 1163 – 1172.
36. Manual de uso del producto. ENCORE Biotechnology. Estados Unidos, 2010.
37. Proyecto de Energía Renovable y Eficiencia Energética [en línea]. *Padrón de empresas: Biodigestores*. Disponible en:

www.proyectedeenergiarenovable.com/Empresas/Padron_Biodigestores.

Consultado el 13 de Marzo de 2012.

38. Instituto Nacional de Ecología [página en internet]. *Tecnologías de remediación utilizadas en México*. SEMARNAT. 2002. [actualizado el 22 de Noviembre de 2011, consultado el 15 de marzo de 2012] Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/tecnomexico.html>.

39. United Nations Framework Convention on Climate Change [página en Internet]. *La convención del cambio climático*. [Consultado el 20 de abril de 2012] Disponible en:

http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/items/6196.php.

40. United Nations Framework Convention on Climate Change [página en internet]. *About CDM*. [Consultado el 20 de abril de 2012]. Disponible en: <https://cdm.unfccc.int/about/index.html>

41. European Energy Exchange [página en internet]. *Certified Emission Reduction Futures*. [Consultado el 12 de Junio de 2012]. Disponible en:

<http://www.eex.com/en/>

42. Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) [página en internet]. *Programa de Apoyo al Valor Agregado de Agronegocios con Esquemas de Riesgo Compartido*. [Consultado el 31 de Julio de 2012]. Disponible en:

http://www.firco.gob.mx/proyectos/provar/Paginas/provar_0.aspx

43. Cordero, L, A, B. *Evaluación de la eficiencia para disminuir coliformes de cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales de granjas porcinas en la zona centro de México (tesis de maestría)*. Distrito Federal, México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2007

8. ANEXOS

Anexo 1. Encuesta realizada a los productores que no tenían un biodigestor en sus granjas.

ENCUESTA A PORCICULTORES SOBRE LA DECISIÓN DE ADQUIRIR EQUIPO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

- Localización de la granja: (Estado)
- Tipo de granja
 - a) Ciclo completo
 - b) Engordadora
 - c) Lechonera
 - d) Pie de Cría
 - e) Multi-sitio ¿Qué sitio? _____
- Número de vientres o de animales en producción:
 1. ¿De qué manera realiza la recolección y desecho de heces y orina?
 2. El impacto ambiental de su granja:
 - a) Le preocupa mucho
 - b) Le preocupa poco
 - c) No le preocupa
 - d) No lo conoce
 3. ¿Qué sistemas de tratamiento de aguas residuales conoce?
 4. ¿Cuenta con algún sistema de este tipo?

Sí, ¿cuál?	No
-------------------	-----------
 5. Conoce el programa de apoyo para la compra de biodigestores de FIRCO SAGARPA?
 6. Si lo conoce, ¿qué opina de este programa?
 7. ¿Conoce los impactos ambientales que tienen los desechos porcinos descargados al medio ambiente?

Sí	No
-----------	-----------
 8. ¿Conoce la Norma Oficial Mexicana que regula las descargas de desechos en los cuerpos de agua?

Sí	No
-----------	-----------
 9. ¿Conoce las multas que impone la CONAGUA por liberar descargas no permitidas en cuerpos de agua propiedad de la nación?

Sí	No
-----------	-----------

Anexo 2. Encuesta realizada a los productores que poseían un biodigestor en sus granjas.

ENCUESTA A PORCICULTORES SOBRE LA DECISIÓN DE ADQUIRIR EQUIPO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

- Localización de la granja: (Estado)
 - Tipo de granja
 - a) Ciclo completo
 - b) Engordadora
 - c) Lechonera
 - d) Pie de Cría
 - e) Multi-sitio ¿Qué sitio?
 - Número de vientres o animales en producción:
 - Año de instalación del biodigestor:
 - Empresa que se encargó de la construcción del biodigestor:
1. ¿Porqué instaló un biodigestor en su granja? (Puede marcar varias opciones)
 - a. Preocupado por el impacto ambiental que generan los residuos de la granja.
 - b. Para aprovechar el biogás en la granja como combustible.
 - c. Para aprovechar el biogás en la granja en la generación de energía eléctrica.
 - d. Para evitar las multas de la CONAGUA.
 - e. Para entrar en el mercado de bonos de carbono
 - f. Otra. ¿Cuál?
 2. Actualmente, ¿comercializa bonos de carbono?

Sí No
 3. El biodigestor instalado, ¿sigue funcionando en la actualidad?

Sí No → ¿Por qué?
 4. ¿Cuáles han sido los beneficios para su granja derivados de haber instalado el biodigestor?
 5. ¿Cuáles han sido las desventajas para su granja derivadas del uso del biodigestor?
 6. ¿Obtuvo alguno de los siguientes apoyos?
 - a. FIRCO
 - b. Proyectos MDL
 - c. AgCert
 - d. Otro, ¿cuál?
 7. Considera que el trámite para acceder al apoyo fue:
 - a. Muy fácil
 - b. Fácil
 - c. Complicado
 - d. Muy complicado
 8. El tiempo de respuesta de la entidad que proporcionó el apoyo fue:
 - a. Muy rápido
 - b. Rápido
 - c. Lento
 - d. Muy lento
 9. ¿Se le proporcionó capacitación técnica para la operación y mantenimiento del sistema?

Sí No
 10. ¿El sistema instalado cumple con sus expectativas?

Sí No → ¿Por qué?
 11. ¿Qué recomienda a las autoridades competentes para que haya un mayor uso de biodigestores o de otras tecnologías para el tratamiento de efluentes?