

LA INDUSTRIA PORCINA EN YUCATÁN: UN ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES *



Adam G. Drucker**
Roberto Escalante Semerena***
Verónica Gómez González****
Sergio Magaña Rueda*****

Fecha de recepción: 1 de junio de 2001. Fecha de autorización: 4 de marzo de 2004.

Resumen

La actividad porcícola se ha convertido en una de las más importantes en el Estado de Yucatán, lo cual ha provocado un crecimiento acelerado en la población de cerdos. Las características naturales de la región la hacen muy vulnerable a la descarga de aguas residuales; lo anterior se aúna al aumento del número de animales en el estado y agrava los problemas por contaminación, especialmente del agua del manto freático. En este artículo se estudian la estructura del sector porcícola con relación a la generación de aguas residuales, la importancia de un manejo adecuado en el uso del agua en las granjas porcícolas y los factores que influyen en la cantidad del agua residual generada.

Palabras clave: producción porcícola, abono, mezcla, contaminación, tratamiento de aguas, legislación ambiental.

* Se agradece a las siguientes instituciones por su apoyo financiero: Conacyt-SISIERRA, Departamento de Desarrollo Internacional del Gobierno Británico y Facultad de Economía de la UNAM.

Además, se agradece a las siguientes personas por su contribución al trabajo de investigación: M. en C. Olga Rubio León, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY); M. en C. Elsy Rosales Puc, Facultad de Ingeniería-UADY; M. en C. Rosario Pérez Espejo, Consejo Mexicano de Porcicultura y UNAM; e Ing. Wilberth Durán Be, Facultad de Ingeniería Química-UADY.

** Departamento de Ecología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Departamento de Agricultura, Wye College, Universidad de Londres, Inglaterra. Correo electrónico: adrucker@tunku.uady.mx

*** Unidad de Posgrado e Investigación, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: semerena@servidor.unam.mx

**** Departamento de Ecología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Correo electrónico: vgomez@tunku.uady.mx

***** Departamento de Ecología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Correo electrónico: mrueda@tunku.uady.mx

Abstract

Hog raising has become one of the most important activities in the state of Yucatán, leading to the rapid growth of the swine population. The region's natural characteristics make it very vulnerable to wastewater discharges, which, along with the growth in the number of animals in the state, aggravate pollution-related problems, especially in the water table. Hence, this article studies the structure of the hog sector with regard to wastewater generation, the importance of the appropriate management of water use on hog farms, and the factors that influence the amount of the wastewater generated.

Key words: pig production, slurry, manure, water table, pollution, water treatment, environmental legislation.

Résumé

L'élevage des porcs s'est converti en une des plus importantes activités de l'Etat de Yucatan, ce qui a provoqué un accroissement accéléré de la population porcine. Or, l'augmentation du nombre d'animaux dans cet Etat aggrave en particulier les problèmes de contamination de l'eau des nappes phréatiques alors que les caractéristiques naturelles de la région la rendent très vulnérable à la décharge des eaux résiduaires. Cet article étudie le problème de l'élevage des porcs en corrélation avec le bon usage de l'eau dans les granges porcines et les facteurs qui influent sur les quantités d'eaux résiduaires qui se produisent.

Mots-clés: Production porcine, engrais, eau potable, pollution, traitement des eaux, législation sur l'environnement

Resumo

A indústria suína se converteu em uma das mais importantes atividades do estado de Yucatán, o que tem provocado um crescimento acelerado na população de suínos. Esta região, por suas características naturais, é muito vulnerável à descarga de águas residuais. Esta vulnerabilidade, aliada ao aumento do número de animais no estado, agrava os problemas de contaminação, especialmente dos lençóis freáticos. Este artigo estuda a estrutura do setor suíno, com relação à produção de águas residuais, além da importância de uma adequada manipulação do uso da água nas granjas porcinas e dos fatores que influenciam a quantidade de água residual gerada. Palavras chave: produção suína, dejetos, esterco, lençol freático, poluição, tratamento de água, legislação ambiental.

Introducción

La Península de Yucatán es una de las regiones más vulnerables a la contaminación del agua subterránea, de la cual se abastece casi toda la población. Esta condición se explica por la estructura geológica fracturada y permeable del subsuelo y por la superficialidad del manto freático. Tales características naturales, junto con el incremento en la importancia de la porcicultura como una de las actividades económicas de mayor relevancia en el estado y el desecho de las aguas residuales generadas de manera indiscriminada conllevan a una fuerte contaminación ambiental. Como se ha señalado en estudios previos sobre el agua del subsuelo, las descargas de aguas residuales animales son una de las principales fuentes de contaminación por materia orgánica en la región. (Vázquez, 1993:41-51)

Por ello, en este artículo destacaremos la importancia de la porcicultura en tanto actividad económica y cómo esta industria ha evolucionado a lo largo de los años; asimismo, vincularemos el gran crecimiento de la población porcina y la consecuente intensificación en la producción con los problemas de contaminación ambiental. Por ello, nos abocaremos al estudio de la cantidad de aguas residuales generadas en Yucatán por el sector porcícola, y por los diferentes tamaños de granja. A la vez, analizaremos cuál es el porcentaje que se descarga en el medio ambiente sin algún tipo de tratamiento y la calidad de esa agua.

Todo lo anterior es relevante para determinar la importancia de un adecuado manejo del agua en la granja y así establecer la forma en que los productores se beneficiarán con una reducción en la cantidad de litros usados para la limpieza y cómo la sociedad en general también se beneficiaría con una mejor calidad ambiental, gracias al óptimo manejo de este recurso.

Antecedentes económicos de la porcicultura en Yucatán

En 1969, el gobierno del Estado de Yucatán, en un nuevo intento de diversificación en la zona henequenera, llevó a cabo una selección de campesinos que deseaban dedicarse a la crianza de cerdos y entregó, a grupos familiares, veintitrés sementales, y se construyeron zahúrdas rústicas en los patios de los predios de las comunidades rurales.

A esta primera fase se le denominó *porcicultura familiar*, la cual se vio favorecida con créditos y entrega de uno a cuatro vientres por familia. Los lechones producidos se comercializaban a los diez o doce kgs. y se enviaban a los centros de engorda que manejaba El Banco Agrario de Yucatán.

Éste fue el inicio del actual programa de la Unión de Ejidatarios Porcícolos Ejidales, el cual, en esta primera etapa no pudo controlar la producción por estar dispersa a causa del número de solares que se dedicaban a esta actividad.

En 1975, comenzó la segunda fase del programa con un nuevo impulso, al construirse 151 granjas colectivas, con una capacidad de veinticuatro a 156 vientres. A pesar del esfuerzo, hubo errores en el diseño de las granjas, que más adelante afectaron la eficiencia productiva de la mayoría. En esta etapa se construyeron los centros de acopio, a fin de obtener animales de crianza y, posteriormente, distribuirlos entre los centros de engorda.

El crecimiento de la porcicultura en la década de los setenta fue poco dinámico, pero, a partir de los ochenta, más poricultores privados se dedicaron a esta actividad. En 1982, existió un déficit de producción de carne de 3 662 toneladas; ese mismo año, la porcicultura representaba 8.2% del valor total obtenido en el subsector pecuario en el estado; ésta fue una de las causas de baja productividad en el sistema ejidal. Consecuentemente, el gobierno siguió destinando fondos de la Federación para la consolidación de la infraestructura porcícola ejidal.

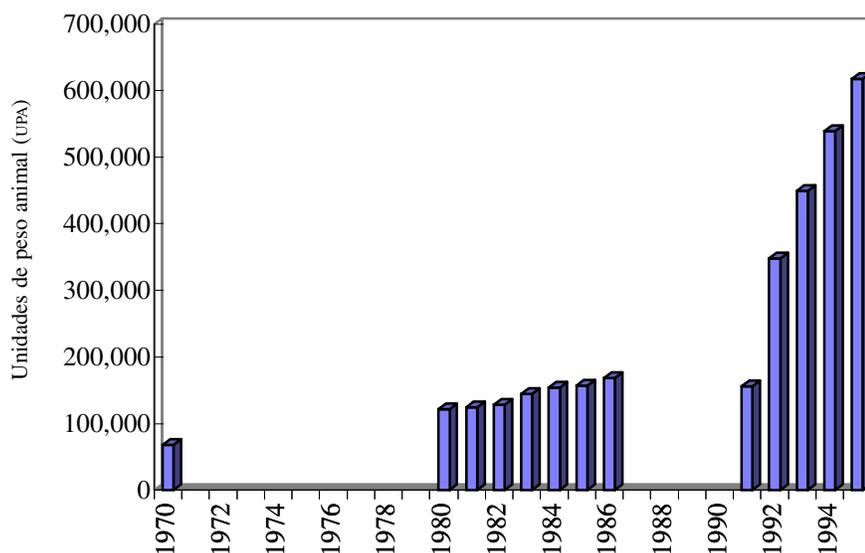
El ambiente en que se desarrolló la actividad agropecuaria en 1988 estaba constituido por un mercado interno protegido, con el fin de regular la estructura productiva y comercial (Vega y Romero, 1987:62-68), a través de la introducción de productos agropecuarios procedentes del extranjero o mediante los precios de garantía al productor y los precios oficiales al consumidor. Por tanto, un alto porcentaje de la producción nacional agropecuaria circulaba en mercados reducidos y retrasaba la creación de circuitos formales de comercialización, aspecto que provocó estrechez en el mercado interno.

Históricamente, la península de Yucatán ha sido un mercado deficitario en producción de carne de cerdo para satisfacer la demanda regional. Sin embargo, a partir de la década de los noventa, la producción de carne de cerdo experimentó un crecimiento acelerado; mientras que de 1984 a 1992 la media anual de producción estatal de carne en canal fue de 17 667.2 toneladas, en 1993 y 1994 fue de 38 278.6;¹ esto significa que cubrió el 95% de la demanda.

Esta alza en la producción de carne de cerdo en Yucatán se debió en gran medida a que la estructura del subsector cambió notablemente en términos técnicos, financieros y económicos, debido a la participación de grandes empresas productivas (megaproyectos), así como al establecimiento de nuevos esquemas asociativos, especialmente entre particulares y ejidatarios.

El aumento en la población de cerdos en Yucatán, a lo largo de los años, puede observarse en la gráfica 1, representado por el número total de unidades de peso animal (UPA), mismas que equivalen a 100 kg. de peso vivo animal, cuya cifra se obtiene al multiplicar por 0.6 el número de animales en existencia.

¹ *Anuario Estadístico del Estado de Yucatán*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1994.



Gráfica 1. Población porcina (UPA) en el Estado de Yucatán

Fuente: *Anuario Estadístico del Estado de Yucatán*, INEGI, 1970 a 1994, y Unión de Porcicultores Ejidales, Asociación Local de Ganaderos, sagar y Ayuntamiento de Mérida.

Nota: datos no disponibles de 1971 a 1979, y de 1987 a 1990.

Como se puede apreciar, las tasas de crecimiento anuales se han incrementado durante las dos últimas décadas y ascendieron extraordinariamente en el período 1991-1992. Como reflejo de dicho crecimiento, observamos que la porcicultura en Yucatán ha llegado a ser una de las actividades más importantes para la economía regional, ya que crea un gran número de empleos directos e indirectos; además, sus pobladores se caracterizan por ser grandes consumidores de carne de cerdo. Sin embargo, de manera paralela, a partir del inicio de la década de los noventa, las empresas han enfrentado una nueva situación productiva y económica debido a la crisis estructural y coyuntural de la economía mexicana.

Yezaki *et al.*² señalaron que, para el sector agropecuario en su conjunto, los problemas críticos eran dos: el abasto de insumos y el financiamiento. México no producía el total de granos que se requerían, por lo que se importaba entre 65 y 75% del consumo requerido, pese al tipo de cambio tan alto, lo que representaba serios problemas financieros; asimismo, los créditos no llegaban oportunamente, las tasas eran muy elevadas y la demanda de carne se había contraído a causa de los bajos salarios.

En apariencia, las crecientes presiones de la apertura comercial desde el inicio de los noventa habían llevado al sector a una verdadera amenaza de colapso financiero, a causa del encarecimiento de los insumos y a la caída en el consumo de carne.

² *Desarrollo Porcícola*, entrevista a Jaime Yezaki, vicepresidente del sector pecuario del Consejo Nacional Agropecuario, 1995, 28, 7.

Como se ha descrito en los párrafos anteriores, la porcicultura en Yucatán se caracteriza por ser una actividad importante en todo el estado, ya que la población animal ha crecido de manera exponencial; sin embargo, tal industria enfrenta el encarecimiento de insumos y las presiones de la apertura comercial. Si a todos estos factores se agrega la creciente preocupación del gobierno, de algunas instituciones de investigación científica y de la sociedad en general por las consecuencias ambientales de la producción animal intensiva, el panorama de desarrollo de la porcicultura se complica aún más.

En la década de los cincuenta, se generalizó la explotación del cerdo bajo un modelo de producción intensivo, cuyos principales componentes técnicos se importaron. Sin embargo, los poricultores no se imaginaron que también conllevaban el problema del tratamiento de los desechos generados en gran volumen por la cría y engorda de los cerdos en confinamiento.

De hecho, ese problema ha estado presente en México a lo largo de más de cuarenta años a causa de la formación de regiones de alta concentración de granjas (cuencas porcinas), al desarrollo de empresas de alta capacidad instalada y, por tanto, con elevada población de animales en un solo lugar, con sus consecuentes efectos acumulativos.

La crisis ambiental para la porcicultura

El manejo que se ha dado a los animales y a las aguas residuales generadas en ese sector ha sido perjudicial en términos tanto ecológicos como sanitarios, debido al escaso o nulo tratamiento de las aguas residuales y a su inadecuada disposición final (Vega y Romero, 1987:18-29). Las causas de los problemas más graves son tanto la transmisión de gérme-



nes patógenos que contaminan las aguas subterráneas y superficiales como la intoxicación del suelo superficial. Asimismo, se contamina el aire por olores, lo cual tiende a atraer especies ajenas e indeseables que alejan a las propias del lugar (*ibid*). Finalmente, los cerdos producen gases y ruidos, que también representan problemas ambientales. Todas esas afecciones pueden generar rompimientos de las tramas ecológicas que dan soporte al ecosistema en su conjunto y hasta provocar la extinción de especies locales.



Cuadro 1
Impactos ambientales de las aguas residuales porcícolas

- Contaminación de aguas subterráneas y superficiales a causa de las aguas residuales sin tratamiento o adecuada disposición final.
- Intoxicación del suelo superficial.
- Contaminación del aire por olores.
- Atracción de especies ajenas e indeseables que pueden alejar a especies de la región de explotación.

Fuente: Elaboración propia con base en F. Vega y H. L. Romero, “Daños y soluciones ecológicas en las granjas porcinas”, en *Porcirama*, vol. II, núm. 131, México, 1987, pp. 62-68; y S. Rodríguez, “Lineamientos para el tratamiento, descarga y reúso de aguas tratadas para granjas porcícolas”, en *Porcirama*, vol. XIII, núm. 13, México, 1989, pp. 18-29.

En particular para Yucatán, la contaminación del manto freático se presenta fácilmente debido al suelo permeable y a que las aguas subterráneas se encuentran a poca profundidad. Estas características hacen que en muy corto tiempo los desechos depositados en el suelo pasen a las aguas del subsuelo y que de ahí puedan ser consumidas por las personas a partir de pozos artesanos (Vázquez y Mejía, 1992).

El reconocimiento del impacto ambiental de las aguas porcícolas era urgente, debido al incumplimiento de las leyes ambientales y sanitarias relevantes por parte de muchos granjeros. A menudo se señala que la mayoría de ellas no cuenta con algún tratamiento de sus aguas residuales, y algunos estudios preliminares del acuífero en sitios cercanos a las granjas comenzaron a mostrar la presencia de materiales atribuibles a las aguas residuales porcícolas —sólidos en suspensión, coliformes y nitrógenos (Fernández *et al.*, 1996:18-20).

La crisis económico-productiva puede volverse aún más difícil, ya que los problemas ambientales exigen una solución, especialmente por la aparición y puesta en marcha de nuevas instituciones y normas legislativas. Es por eso que, para entender la gravedad del problema originado por la contaminación de aguas residuales porcícolas, se deben responder preguntas tales como: ¿cuáles son los sistemas de tratamiento disponibles?, ¿cuáles son sus costos? (Drucker *et al.*, 1998a), ¿qué tan eficaz es la norma?, ¿cuáles serán sus implicaciones ambientales y económicas?, ¿qué instrumentos pueden incentivar a los poricultores para el cumplimiento de la norma? (Drucker *et al.*, 1998b), etcétera. Pero, para que todas estas preguntas puedan responderse, primero debemos entender la magnitud de los volúmenes de contaminación. Es por ello que dedicamos este artículo al cálculo

y consideraciones que deben tomarse en cuenta respecto al volumen de aguas residuales generadas en granjas porcícolas.

La valoración monetaria ambiental del problema planteado queda fuera de los objetivos principales del artículo; aun así, se presentan algunas consideraciones en este sentido, con la finalidad de que el lector tenga conocimiento del tema y se abran nuevas líneas de investigación para futuros estudios.

Generación de agua residual en granjas porcícolas

Para entender la magnitud del problema que representa la generación de agua residual total, es indispensable conocer la cantidad del agua descargada. El agua es un insumo básico para que los cerdos beban y se bañen, así como para remover los residuos de los corrales. La cantidad de agua la determinan los requerimientos de la granja, dependiendo de factores tales como el tamaño y tipo de granja, así como el manejo a la hora del lavado.

El cálculo del volumen de agua residual total generado por una granja es una pieza clave para determinar el sistema de tratamiento adecuado, no sólo para alcanzar los parámetros de calidad del agua establecidos por la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua³ y la NOM-001-ECOL⁴ (LFDMA/NOM) para el cumplimiento de la norma ambiental relevante, sino también para que el productor elija el tratamiento que mejor cubra sus necesidades. Asimismo, la cantidad de agua residual total producida por la industria porcícola en el estado podría ser importante para futuros estudios en los que se determine la capacidad de recarga del medio ambiente, ya que, dependiendo del manejo que se haga en la granja con respecto a la cantidad de agua residual descargada, estaremos colmando esta capacidad en mayor o menor número de años. De igual forma, se podrán determinar, mediante una valoración monetaria ambiental, los costes derivados de la regulación ambiental acerca de la generación de aguas residuales porcícolas; en este sentido y de acuerdo con Azqueta, se debe considerar la influencia de los bienes ambientales en la productividad de algunos factores de la producción, así como las medidas defensivas tomadas por los agentes al modificarse las condiciones de producción (*averting behaviour*); dichas medidas pueden ser relativas a la misma composición de la producción y/o a una utilización más intensiva de otros factores (Azqueta, 1994).

A lo largo de este artículo, se desarrollará el modelo de la generación de aguas residuales porcícolas, con el fin de determinar si la cantidad depende significativamente de variables identificadas durante el trabajo de campo (realizado de julio de 1996 a julio de 1997).

³ Comisión Nacional del Agua, *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*, México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, enero de 1998.

⁴ Proyecto de Norma Oficial Mexicana, publicada en el *Diario Oficial de la Federación*, del 24 de junio de 1996.

Para ello, a partir de una muestra, se hará un análisis previo de la cantidad de agua residual producida por granjas porcícolas, cuyos resultados se extrapolarán para el cálculo del agua residual generada en el Estado de Yucatán, así como el porcentaje de éstas que se descarga al medio ambiente sin algún tipo de tratamiento previo. De esta manera, el inciso a) de esta sección se dedicará al cálculo del agua residual total, para luego desarrollar el modelo de generación de aguas residuales en el inciso b).



a) Cálculo del agua residual total por granja y sector en el Estado de Yucatán

Métodos

Para el cálculo de la cantidad de agua residual total generada por las granjas de Yucatán, se utilizó una muestra de catorce granjas (que representan aproximadamente 5% de la población porcina en el estado) de diferentes tamaños o estratos: siete pequeñas (menores a 651 UPA),⁵ dos medianas (entre 651 y 2 000 UPA), cuatro grandes (entre 2 001 y 6 000 UPA) y una mega (mayor a 6 000 UPA). La distribución de las catorce granjas por tamaño se relaciona aproximadamente con la distribución del total de granjas en Yucatán, considerando el que se tenga un número suficiente en cada estrato (o tamaño) para fines comparativos.

Dentro de la muestra realizada, cuatro de las siete granjas pequeñas son de ciclo completo, dos de engorda y una de pie de cría.⁶ Ninguna de ellas recicla su agua o cuenta con charcas o rejillas para disminuir el uso del agua de lavado.⁷ De las dos medianas, ambas son de ciclo completo y ninguna cuenta con rejillas, charcas o recicla su agua. De las grandes, dos son de ciclo completo y dos de engorda; dos de ellas tienen rejillas y dos tienen charcas. Por último, la granja mega de la muestra es de ciclo completo, no tiene rejillas ni charcas y tampoco recicla su agua.

El agua residual total generada por estas granjas proviene de diferentes fuentes: 1) del agua utilizada para el lavado de los cerdos; 2) de las heces y orina producidas y 3) del agua para beber que desperdician los animales. Estos factores dependen, a su vez, como ya

⁵ Una UPA se define como una Unidad de Peso Animal de 100 kilogramos. Así, para calcular el total de kilogramos en una granja, se multiplica el número de UPAs por 100.

⁶ Granja de Ciclo Completo: incluye la reproducción de cerdos, los cuales son vendidos después de ser engordados hasta alcanzar 100 kg. de peso aproximadamente. Granja de Engorda: no hay hato reproductor, los cerdos destetados llegan a la granja y son engordados hasta alcanzar el peso de mercado (100 kg.). Granja de Pie de Cría: especializadas en la producción de lechones, los cuales dejan la granja al alcanzar de 30 a 50 kgs. de peso. Véanse Eliseo P. Taiganides, *et al.* (1996:29-30).

⁷ Tanto las charcas como las rejillas son mecanismos tecnológicos para el ahorro de agua. Las charcas son pequeñas fosas al final de los corrales en donde los cerdos se refrescan sin necesidad de baños con manguera. Las rejillas son jaulas elevadas en donde se encuentran los animales; debido a que el excremento cae debajo de la jaula, el animal no está en contacto con sus heces y por lo tanto requiere de un menor número de baños.

mencionamos, del número de cerdos existentes y de su peso, pero también del tipo de tecnología utilizada para el ahorro de agua de lavado (por ejemplo, reciclaje del agua, utilización de rejillas o charcas).

Para obtener la información adicional necesaria para realizar los cálculos de la generación del agua residual porcícola en el Estado de Yucatán, se visitaron todas las granjas de la muestra y se levantó un cuestionario referente al número de cerdos por tipo (sementales, hembras gestantes, en maternidad, crías menores a veintiún días, destetes y engorda), así como su peso promedio y horas diarias de lavado por granja.

En la práctica, nos encontramos con muchos problemas para medir la cantidad de agua utilizada, ya que las granjas no llevan registro alguno ni cuentan con medidores. Es por ello que, tanto para el cálculo del agua de beber desperdiciada como para determinar el total de heces y orina producidos en una granja, se recurrió a la revisión de estudios realizados al respecto, como se verá más adelante.

En primer lugar, la determinación de litros de agua utilizados por las granjas para el lavado de sus animales se hizo a través de la medición del gasto de agua por hora durante el lavado de sus corrales y de las horas de lavado diarias, con lo que se obtuvo el total de agua de lavado utilizada por día en cada granja de la muestra.

En segundo lugar, para el cálculo de la cantidad de heces y orina producida en cada granja, y de acuerdo con el estudio realizado por Elíseo P. Taiganides *et al.* (1996:44), se adaptaron a nuestra muestra los siguientes parámetros de producción de excremento por cada 100 kgs. de peso vivo animal por día, para cada fase, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2
Kilogramos de heces y orina producidos por cada 100 kilogramos de peso animal por día

| <i>Tipo de porcino</i> | <i>Kilogramos de heces y orina por cada 100 kg. de peso animal al día</i> |
|--|---|
| Sementales | 2.93 |
| Hembras gestantes | 3.35 |
| Hembras secas | 5.04 |
| Hembras en maternidad (lactantes) | 8.08 |
| Crías menores de 21 días (lechones) | 9.00 |
| Destetes | 8.60 |
| Engorda (promedio de crecimiento y finalización) | 7.00 |

Fuente: Taiganides *et al.*, 1996.

Nota: El total de hembras en la granja está formado por las gestantes y de maternidad; es decir, no se toma en cuenta el tipo "hembras secas".

Con la información obtenida en el cuestionario (número de animales por tipo y peso promedio) y los datos del cuadro 1, es posible calcular el total de kilogramos de heces y orina (HYO) producidos en las granjas de la muestra.

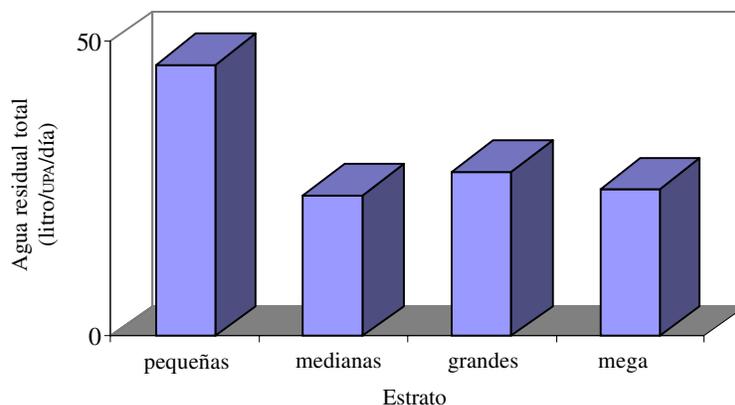
El tercer dato necesario para determinar la cantidad total de agua residual es el número de litros de agua para beber desperdiciada por los cerdos. Se considera el estudio realizado por Taiganides *et al.* (1996:55-58) para estimar que, en promedio, se desperdician diariamente cinco litros de agua por cada 100 kgs. de peso vivo. Con este dato, más el número de cerdos por granja y tipo, así como su peso promedio, se obtuvo la cantidad de agua para beber desperdiciada.



Resultados y discusión

Al sumar el agua del lavado, las heces y orina más el agua de beber desperdiciada, se obtuvo el total de litros de agua residual generada por cada granja al día. Desde luego, se observó que las granjas generan más agua residual en la medida en que aumenta el número de animales; sin embargo, para fines de comparación entre granjas de diferentes tamaños, se dividió el total de litros de agua residual entre 100 kgs. de peso vivo (100 kg. equivale a una Unidad de Población Animal o UPA).

Observamos que, en la muestra realizada, el agua residual de las granjas puede variar dentro de un rango muy amplio, entre 17 y 62 litros por UPA al día (es decir, entre doce y cuarenta y tres litros por animal al día); por ello, para fines de análisis se calculó el promedio de agua residual total por estrato y se obtuvieron los resultados que se presentan en la gráfica 2.



Gráfica 2. Agua residual total promedio al día, por estrato, por cada 100 kilogramos de peso vivo
Fuente: Propia encuesta.

Como se puede observar, las granjas pequeñas generan en promedio casi 50% más agua residual total por UPA que el resto de las granjas. Esta diferencia tan grande en el uso del agua se puede atribuir, principalmente, a la forma en que se realiza el lavado de las granjas (como puede verse en el cuadro 3); esto podría deberse a que mientras en las granjas pequeñas los

operadores pueden tomarse más tiempo en bañar a los cerdos, en las de mayor tamaño tienen el tiempo más restringido y mayor supervisión.

Cuadro 3
Agua de lavado promedio
por cada 100 kgs. de peso vivo

| <i>Estratos</i> | <i>Agua de lavado promedio litros/UPA/día</i> |
|-----------------|---|
| Pequeñas | 35 |
| Medianas | 13 |
| Grandes | 16 |
| Mega | 14 |

Fuente: Propia encuesta

Esta variabilidad entre granjas en cuanto a la cantidad de agua residual generada puede deberse también —aunque en menor medida— al número de cerdos de cada tipo presentes en la granja, ya que la cantidad generada de heces y orina depende primordialmente de la fase en que se encuentre el animal (recién nacido, destete, engorda, hembra gestante o en maternidad, semental).

Una vez calculada el agua residual total en toda la muestra, se extrapolaron las cifras para calcular el agua residual generada por granjas porcícolas en todo el Estado de Yucatán. Es decir, el promedio de agua residual total por UPA calculado para cada estrato de la muestra se multiplicó por el número de UPA por estrato en todo el estado.

Además, las granjas presentan diferentes grados de tratamiento que reducen en mayor o menor grado la concentración de contaminantes. La cantidad de agua residual total para el inventario porcino de Yucatán, considerando los distintos tamaños de granjas y las diversas proporciones de tratamiento estimadas durante las visitas realizadas a lo largo del estudio, se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4
Agua residual total y sin tratamiento en el Estado de Yucatán

| <i>Estrato</i> | <i>Número*</i> | <i>Unidades de peso animal (UPA)*</i> | <i>Litros diarios de agua residual total</i> | <i>Proporción del agua residual total</i> | <i>Proporción de granjas con tratamiento</i> | <i>Agua residual total sin tratamiento (litros/día)</i> | <i>Proporción del agua residual total sin tratamiento</i> |
|-----------------|----------------|---------------------------------------|--|---|--|---|---|
| <i>Pequeñas</i> | 215 | 48.910 | 2 243.498 | 13% | 10% | 2 019.149 | 33% |
| <i>Medianas</i> | 32 | 32.332 | 772.418 | 5% | 30% | 540.693 | 9% |
| <i>Grandes</i> | 35 | 96.974 | 2 704.616 | 16% | 50% | 1 352.308 | 22% |
| <i>Mega</i> | 29 | 439.149 | 11 040.197 | 66% | 80% | 2 208.039 | 36% |
| <i>Total</i> | 311 | 617.365 | 16 760.730 | 100% | | 6 120.189 | 36.52% |

Fuente: Unión de Porcicultores Ejidales, Asociación Local de Ganaderos, SAGAR y Ayuntamiento de Mérida

Como puede observarse, la mayoría de las granjas son pequeñas (69%), por lo que, aunque la generación de agua residual por granja sea mínima, la contribución de las 215 al total del agua residual en el estado es significativa (13.39%). Por otro lado, la mayoría de las unidades animales se concentran en granjas grandes y mega (86.84% de las UPA), por lo que conjuntamente generan 82% del agua residual total.

Con los datos presentados, estimamos que se producen aproximadamente 16 700 m³ diarios de aguas residuales porcícolas en el Estado de Yucatán. Parte de estas aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento, principalmente en las granjas mega, en donde la posibilidad de instalación de sistemas de tratamiento es mayor que en las granjas medianas o pequeñas. Sin embargo, los datos considerados en la tabla anterior, relacionados con la proporción de granjas con tratamiento, pueden estar sobrestimando el tratamiento real, ya que la existencia de infraestructura no significa que los sistemas trabajen adecuadamente. Por ello, puede establecerse que por lo menos 6 100 m³ de aguas residuales (36.52% del total) se arrojan sin tratamiento cada día.

En el cuadro 5 se presentan los límites máximos permisibles de tres de los parámetros de calidad del agua relevantes para la LFDMA/NOM, así como los rangos dentro de los cuales las granjas de la muestra descargan el agua antes de que sea expuesta a algún tratamiento.

Cuadro 5
Calidad del agua con relación a la LFDMA/NOM y sin tratamiento

| Parámetros de calidad | Límites máximos permisibles establecidos en la LFDMA/NOM (miligramos/litro) | Parámetros de calidad de descarga sin tratamiento (miligramos/litro) |
|-----------------------|---|--|
| DBO * | 30-150 | 6 293-13 990 |
| SST * | 40-150 | 15 106-33 581 |
| NKT * | 15-40 | 1 260-2 801 |

Fuente: LFDMA, PigMex. Propia encuesta.

Nota: los rangos de los límites máximos permisibles están determinados por el valor mínimo y máximo que se establece dependiendo del tipo de cuerpo receptor.

* DBO: Demanda bioquímica de oxígeno; SST: Sólidos suspendidos totales; NKT: Nitrógeno Kjeldahl Total

Los parámetros de descarga cuando las granjas no hacen algún tipo de tratamiento del agua son mucho mayores a los límites máximos permisibles por la LFDMA/NOM; Drucker *et al.* (1996-1997:23-39) profundizan al respecto. Por otra parte, las concentraciones de los parámetros cuando no hay tratamiento caen en un rango muy amplio. Esta diferencia tan grande en las concentraciones de los efluentes se debe al tamaño de la granja y al uso del agua. Es por ello que en las granjas, como establecen Drucker *et al.*, (1998c) el manejo del agua y la cantidad de la misma determinan las concentraciones de los parámetros al instalar un sistema de tratamiento.

Por otro lado, vale la pena destacar que tanto granjas pequeñas como mega contribuyen, cada grupo, con más del 30% de las aguas no tratadas. Esto se debe a la combinación de varios factores: por un lado, como ya se mencionó, aunque las granjas pequeñas cuentan con un número no muy elevado de UPA, representan 69% del total en Yucatán, con tan sólo un 10% de granjas con algún tipo de tratamiento; mientras tanto, las granjas mega, por tener un número muy elevado de UPA generan 66% del agua residual total del estado, por lo que, a pesar de que 80% cuentan con tratamiento, queda una cantidad considerable de litros sin tratar. Lo anterior nos indica que el problema no será resuelto con la instalación de sistemas de tratamiento adecuados en las granjas porcícolas más grandes del estado, sino que también deberá brindarse apoyo a las empresas pequeñas para que sean capaces de atacar el problema desde ese frente.

Conviene destacar que la LFDMA y la NOM han establecido un período de gracia para el pago de derechos de descarga; es decir, los usuarios no pagarán, aun cuando los parámetros de calidad del agua rebasen los límites máximos permisibles, siempre y cuando presenten ante la Comisión Nacional del Agua un programa de acciones para mejorar la calidad de sus aguas residuales. Las fechas límites para presentar el programa de acciones y para el cumplimiento del mismo⁸ se acuerdan de conformidad con la cantidad en toneladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno Total (DBOT) y/o Sólidos Suspendedos Totales (SST). De esta manera, las granjas pequeñas (cuya descarga es igual o menor a 1.2 toneladas al día de DBOT y/o SST) tienen un período de gracia, para el cumplimiento del programa de acción, hasta de diez años más que las granjas de mayor tamaño.⁹ Esto significa que la enorme proporción de aguas residuales no tratadas generada por las granjas pequeñas seguirá siendo descargada hasta el año 2010 sin que se aplique la ley.

Una alternativa de regulación ambiental a la normatividad es la creación de mercados para proteger los recursos naturales y el medio ambiente. Para el caso de la generación de aguas residuales porcícolas, la alternativa consiste en un mercado de derechos negociables (permisos de contaminación). El principio que guía la creación de un mercado de estas características es que los medios receptores de las aguas residuales tienen una capacidad de absorción ilimitada (Dasgupta y Heal, 1993). Los usuarios del medio, en este caso las granjas, adquieren un permiso de descargas que pueden vender en su totalidad o en parte, en la medida en que demuestren que han reducido tales desechos. De esta manera, la

⁸ La fecha del cumplimiento del programa de acción, equivale a la fecha límite para no rebasar los límites máximos permisibles establecidos.

⁹ La LFDMA y la NOM establecen que las granjas con descarga mayor o igual a 3 toneladas al día de DBOT y/o SST tienen como fecha límite para no rebasar los límites máximos permisibles el 1o. de enero de 2000, con descarga mayor a 1.2 toneladas pero menor a 3 toneladas al día la fecha límite que es el 1o. de enero de 2005, y con descarga igual o menor a 1.2 toneladas al día la fecha límite que es el 1o. de enero de 2010.

innovación tecnológica que reduzca la generación de aguas residuales tendrá incentivos adicionales al incremento de la productividad. Las empresas que requieran incrementar sus descargas adquirirán los permisos adicionales con los productores, reduciéndolas a costes menores.

Además, el gobierno podrá retirar permisos del mercado para acelerar el cambio técnico o reducir el nivel de producción de las granjas. Este mecanismo sería igualmente eficiente, sin importar si los permisos iniciales se concedieran gratuitamente, se subastaran o vendieran a precios fijos. La diferencia se concentraría en los efectos distributivos.



b) Modelación de la generación de aguas residuales

Hipótesis

Mediante las visitas realizadas a las granjas de la muestra, nos formamos cierta idea referente a los factores que podrían influir en la mayor o menor utilización de agua para sus diferentes procesos y, por tanto, en la cantidad de agua residual total generada. Es por ello que se establecieron ciertas hipótesis para explicar la proporción de ART por UPA generada en cada granja (ART por UPA como variable dependiente), las cuales se evaluaron a través de un análisis de regresión múltiple. Se mencionan a continuación.

El agua residual total generada por las granjas parece depender, además del número de UPA presentes (es decir, el tamaño de la granja), del total del peso vivo en cada fase y de la tecnología con que cuenta la granja con relación al uso de agua de lavado (rejillas, charcas, reciclaje de agua).

En primer lugar, es lógico pensar que cuanto más grande sea la granja, mayor será la cantidad de litros totales generados como agua residual, ya que al tener más cerdos, mayor será la cantidad total de heces y orina excretadas, se desperdiciará más agua para beber y se utilizará una mayor cantidad para lavar a todos los animales. Sin embargo, cuando se analiza la cantidad de agua residual total generada por UPA, tal como se hizo en la sección anterior, se puede observar que las granjas pequeñas generan, por cada 100 kg. de peso vivo, casi 50% más que el resto. Con lo anterior podemos suponer que las granjas, cuanto más grandes son, utilizan su agua más eficientemente y, por tanto, generan menos agua residual total por animal (o por UPA). Para probar esta hipótesis, una de las variables incluidas en el análisis de regresión es el número de UPA por granja.

En segundo lugar, como se estableció en la sección anterior, la variabilidad en la cantidad de agua residual generada por las diferentes granjas se puede atribuir al número de cerdos (o peso vivo) de cada tipo (recién nacidos o lechones, destete, engorda, hembra, semental). Por un lado, debido a que la cantidad de heces y orina depende de la fase en que se encuentre el animal y, por otro, debido a que el lavado es diferente para cada tipo de cerdo; por ejemplo, los lechones no reciben baños, mientras que para los cerdos de engor-

da se utiliza una gran proporción del agua de lavado total. Es por ello que otras variables en el modelo de regresión se refieren al tipo de granja, es decir, de ciclo completo, de engorda, lechonera o de pie de cría.

En cuanto a la tecnología para el ahorro de agua de lavado, existen granjas que cuentan con sistemas para reciclar el agua utilizada, otras más que tienen charcas en donde los cerdos se pueden refrescar sin necesidad de lavarlos con manguera, o jaulas elevadas de rejilla en donde el excremento cae fuera y, al no estar en contacto con sus heces, se ensucian menos y requieren menos baños. De esta manera, la cantidad de agua utilizada por UPA también podría depender de cómo se maneje el agua dentro de la granja.

Éstos fueron los factores principales que se identificaron para influir en la cantidad de agua residual generada por la granja y que se incluyeron en el modelo de regresión.

Métodos

Tomando en cuenta las hipótesis presentadas arriba y las características de las granjas pertenecientes a la muestra, se construyó un modelo de regresión múltiple en donde la variable dependiente es el agua residual total por UPA, la cual está explicada por el tipo de granja, la tecnología para el ahorro de agua en la granja y el tamaño de la misma.

Dado que tanto las variables de tipo de granja como de tecnología de ahorro de agua de lavado son cualitativas por naturaleza, se definieron como variables *dummy* con tres categorías cada una. Para la variable de tipo de granja contamos en la muestra con las siguientes categorías: ciclo completo, pie de cría y engorda. Siguiendo la regla que establece que el número de *dummies* debe ser uno menos que el número de categorías de la variable (Gujarati, 1988:705), introdujimos dos *dummies* para las tres categorías de tipo de granja. En el caso de la tecnología de la granja para el ahorro de agua de lavado, también se presentan tres categorías en la muestra (y, por tanto, dos *dummies*): presencia de rejillas, presencia de charcas y ausencia de tecnología para el ahorro de agua de lavado.

La variable que se eligió para indicar el tamaño de la granja fue el número de UPA (expresado como su logaritmo base 10) y no variables *dummy* (por ejemplo, pequeña, mediana, grande), debido a que los tamaños entre granjas pertenecientes a un mismo estrato difieren considerablemente; por tanto, encapsular a todas dentro de una sola categoría haría más impreciso el análisis. Asimismo, de un estrato a otro existe una marcada diferencia entre UPA de las granjas (desde 38.5 en las pequeñas hasta 20 556 en las mega), por lo que decidimos utilizar como unidad de medida el logaritmo base 10 de las UPA presentes.

Consecuentemente, el modelo estadístico se define como:

$$ART_i = \alpha_1 + \alpha_2 CC_i + \alpha_3 PIECRÍA_i + \alpha_4 REJILLA_i + \alpha_5 CHARCA_i + \beta LOGUPA_i + \mu_i$$

donde: ART_i = Agua residual total por UPA

- $cc = 1$ si la granja es de ciclo completo
 $= 0$ de otro modo
 $PIECRÍA = 1$ si la granja es de pie de cría
 $= 0$ de otro modo
 $REJILLA = 1$ si la granja tiene rejilla
 $= 0$ de otro modo
 $CHARCA = 1$ si la granja tiene charca
 $= 0$ de otro modo
 $LOGUPA =$ Logaritmo de las UPA
 $\alpha_{1,5}$ = Ordenada al origen
 β = Pendiente
 μ = error



En el caso de que las variables *dummy* CC y PIECRÍA tomen simultáneamente el valor de cero, se estará indicando que la granja es de engorda. Del mismo modo, si las variables *dummy* REJILLA y CHARCA toman simultáneamente el valor de cero, será porque la granja no cuenta con ningún tipo de tecnología para el ahorro de agua de lavado.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6
Resultados del modelo de regresión

| Variable dependiente: ART.* | | | | | | |
|---|---------|------------------------|----------|---------------------|---------|--------|
| R= 0.8409 R ² = 0.7071 R ² Ajustada= 0.5240 | | | | | | |
| F(5,8)= 3.8621 p< 0.0446 Error estándar del estimado: 10.219 | | | | | | |
| | BETA | Error estándar de BETA | B | Error estándar de B | t(8) | p |
| Ordenada al origen | | | 78.4456 | 11.8343 | 6.6287 | 0.0001 |
| CC* | -0.2003 | 0.2756 | -5.9669 | 8.2097 | -0.7268 | 0.4881 |
| PIECRÍA* | -0.4973 | 0.2170 | -27.5592 | 12.0293 | -2.2910 | 0.0512 |
| REJILLA* | -0.3002 | 0.2660 | -16.6381 | 14.7397 | -1.1288 | 0.2917 |
| CHARCA* | 0.0594 | 0.2522 | 2.0667 | 0.7725 | 0.2356 | 0.8197 |
| LOGUPA* | -0.7020 | 0.2888 | -12.5376 | 5.1579 | -2.4307 | 0.0412 |

* art: agua residual total por UPA; CC: ciclo completo; PIECRÍA: pie de cría; REJILLA: jaulas elevadas en donde se encuentran los animales; CHARCA (depósito de agua detenida en el terreno); LOGUPA: logaritmo de las UPA.

Con estos resultados, nuestra ecuación quedaría expresada como:

$$\hat{ART} = 78.45 - 5.97(CC) - 27.56(PIECRÍA) - 16.64(REJILLA) + 2.07(CHARCA) - 12.54(LOGUPA)$$

A pesar de que el modelo en general es significativo ($p < .04$), solamente las variables LOGUPA y PIECRÍA son significativas de manera individual. Con ello podemos concluir que solo éstas explican significativamente el que se use menor o mayor agua residual por UPA. En el caso de la variable LOGUPA, el resultado señala que a mayor número de UPA en la granja, el agua residual total generada por UPA será menor; con lo cual podemos confirmar que las granjas, cuanto más grandes, son más eficientes en el uso de agua que pasa a formar parte de la descarga residual. En el caso de PIECRÍA, la relación con agua residual total es negativa también; esto indica que en una granja de este tipo, el agua que se generará por UPA será menor que en las granjas de engorda o ciclo completo, debido a que los animales en fase de recién nacidos y hasta los veintiún días generalmente no reciben ningún baño, lo cual contribuye a que este tipo de granjas generen menor cantidad de agua residual total.

De acuerdo con los resultados del modelo, el resto de las variables al parecer no son significativas para explicar la cantidad de agua residual producida por las granjas de la muestra. Esto podría indicar que el manejo del agua en estas granjas no depende significativamente de otras variables diferentes a LOGUPA y PIECRÍA; es decir, el que tengan rejillas, charcas, sean de ciclo completo o engorda, en realidad no condiciona la cantidad de agua usada por cada 100 kgs. de peso. De algún modo, esto parecería confirmar lo observado a lo largo de nuestras visitas a las granjas, ya que pudimos percatarnos de la falta de un patrón en el uso del agua; es decir, el manejo que se hace de ella, en general, es completamente arbitrario.

El análisis de regresión realizado tuvo la finalidad de observar si la generación de aguas residuales estaba determinada por ciertos factores. En general, se encontró cierta relación significativa con el número de UPA y con el tipo de población en la granja si ésta no produce animales de engorda. Pero, más importante aún, se observó que el uso de agua en las granjas es muy particular a cada establecimiento y que es difícil establecer un solo modelo aplicable a las granjas yucatecas.

De cualquier manera, es importante señalar que el número de granjas incluido en la muestra utilizada podría ser pequeño, por lo que se recomienda realizar estudios con una muestra de mayor tamaño y con diferentes mediciones de la cantidad de agua utilizada en cada granja a lo largo de todo un año, de forma que se incluyan factores climáticos en la determinación de la cantidad de agua residual producida.

Conclusiones

Se han definido la estructura de la industria porcícola y la escala del problema que representa el volumen de aguas residuales generado diariamente. A partir de tales definiciones, pueden obtenerse las conclusiones que se expondrán a continuación.

En primer lugar, como se expuso al inicio de este artículo, las granjas porcícolas se están enfrentando al cumplimiento de las normas ambientales expedidas recientemente (LFDMA/NOM), en las cuales se establecen parámetros de calidad para la descarga de aguas residuales. Para que las granjas sean capaces de cumplir con dichos parámetros, deberán instalar sistemas de tratamiento de agua y pagar derechos de descarga en el caso de que algún parámetro rebase el límite máximo permisible; todo ello tiene implicaciones financieras. Como establecen Drucker *et al.* (1998c), el tamaño del sistema de tratamiento se relaciona directamente con la cantidad total de agua residual generada, lo cual, a la vez, se relaciona con los costos de inversión inicial.



En la práctica, encontramos que los porcicultores no llevan registro de la cantidad de agua que utilizan, dado que la mayoría de las granjas no cuentan con medidores. En general, no saben cuánta agua consumen sus animales ni cuántos litros se utilizan en el lavado de los mismos y de sus corrales. Debido a que del uso del agua dependen el tamaño y el tipo de sistema de tratamiento a elegir, es importante que los productores establezcan mecanismos para una determinación precisa de la cantidad de agua utilizada en cada uno de los procesos. Este conocimiento facilitará una elección óptima del sistema de tratamiento a utilizar (Drucker, *et al.*, 1998c)

Además de la elección del sistema de tratamiento óptimo para el cumplimiento de la LFDMA/NOM, el conocimiento de la cantidad de agua que se utiliza en la granja indicará a los productores en qué parte de los procesos puede tenerse un ahorro en el uso del agua. Al intentar reducir la cantidad de agua utilizada por UPA, se ahorraría dinero en el bombeo de agua, por ejemplo; además, como establecen Drucker *et al.* (1998c) al generar menos agua residual, se obtendría un ahorro significativo en el costo de inversión al requerir sistemas de tratamiento de menor tamaño.

Las grandes diferencias en términos de la cantidad de agua utilizada por granja (ya que se observa un aumento de casi 50% en la cantidad de ART generada en las granjas pequeñas) y el hecho de que no exista un patrón en el uso de agua (es decir, que no obedezca a la tecnología utilizada o al tipo de granja) demuestran que hay un gran potencial para reducir el consumo de agua y aprovechar este tipo de ahorro.

En segundo lugar, la producción de aguas residuales porcícolas en Yucatán se estima en 16 700m³ diarios, 36.52% de los cuales se arrojan diariamente sin tratamiento. Destaca el hecho de que tanto granjas pequeñas como mega contribuyen, cada cual, con más de 30% de las aguas no tratadas, por lo que no bastará que las autoridades pongan todos sus esfuerzos en regular a los grandes productores, sino que también será necesario asegurar que las granjas pequeñas (que representan 69% del total en el estado) cumplan con las leyes y normas referentes a la descarga de aguas, considerando siempre aspectos tales como los impactos en la estructura del mercado, los costos financieros en que incurrirán las granjas y sus consecuencias sobre el empleo y el producto.

El hecho de que las autoridades regulatorias otorguen mayores períodos de gracia a las granjas pequeñas para iniciar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la LFDMA/NOM provoca que un gran porcentaje de las aguas residuales que se descargan sin tratamiento quede desatendido durante muchos años todavía.

A lo largo de este artículo, se ha resaltado la importancia de cuantificar los volúmenes de agua, ya que determinan los aspectos financieros para la instalación de sistemas de tratamiento, pero también porque un análisis de la generación de agua residual total dentro del sector porcícola nos da una clara idea del problema al que nos enfrentamos, quiénes son los actores más importantes en este sector productor y porqué se requiere del apoyo de las agencias reguladoras, de los productores y de la sociedad en general para disminuir el impacto de las actividades económicas en el medio ambiente. 

Bibliografía

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Anuario Estadístico del Estado de Yucatán*, INEGI, 1994.
- Azqueta O., Diego. *Valoración económica de la calidad ambiental*, Madrid, Mc Graw Hill, 1994.
- Comisión Nacional del Agua, *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*, México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, enero de 1998.
- Diario Oficial de la Federación. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana*, 24 de junio de 1996.
- Desarrollo porcícola*, entrevista a Jaime Yezaki, vicepresidente del sector pecuario del Consejo Nacional Agropecuario, 1995, 28, 7.
- Drucker, Adam, G. Verónica Gómez y Sergio Magaña. “¿Contaminante o bien?: la importancia del valor de los subproductos en la determinación de estrategias y políticas para el tratamiento de los desechos animales”, en *Investigación ecológica*, UNAM, 1998a, (en prensa).
- , Verónica Gómez y Sergio Magaña. “¿La elaboración de incentivos adecuados?: una evaluación de la legislación ambiental relevante a los desechos porcícolas en Yucatán, México”, en *Investigación ecológica*, UNAM, 1998b, (en prensa).
- , Verónica Gómez, Sergio Magaña. “¿Contaminante o bien?: la importancia del valor de los subproductos en la determinación de estrategias y políticas para el tratamiento de los desechos animales”, en *Investigación ecológica*, UNAM, 1998c, (en prensa).
- , Sergio Magaña, Verónica Gómez, Víctor Pech. “Normatividad ambiental, producción porcícola e incentivos económicos”, en *Reporte Final a Conacyt-SISIERRA*, 1996-1997, pp. 23-39.
- Dasgupta S. P. y M. G. Heal. *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Gran Bretaña, Cambridge University Press, 1993.
- Fernández, C., A. de la Torre; G. Carsonell; M. Muñoz y J. Tarazona. “Evaluación toxicológica del riesgo ambiental ligado al vertido de los purines (excretas) de cerdo”, en *Desarrollo porcícola*, núm. 35, 1996, pp. 18-20.
- Gujarati, D. *Basic Econometrics*, 2ª ed., Singapore, McGraw-Hill, 1988.
- Rodríguez, S. “Lineamientos para el tratamiento, descarga y reúso de aguas tratadas para granjas porcícolas”, *Porcira*, vol. XIII, núm. 13, 1989, pp. 18-29.
- Vázquez, E. y A. Zapata. “Calidad bacteriológica del agua de consumo del puesto de Sisal, Yucatán”, en *Boletín académico*, núm. 22, Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, 1993, pp. 41-51.
- y G. Mejía. “Impacto ambiental de las granjas porcícolas en el Estado de Yucatán”, en *Gaceta universitaria*, núm. 14, Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán, 1992.
- Vega, F. y H. L. Romero. “Daños y soluciones ecológicas en las granjas porcinas”, en *Porcira*, vol. II, núm. 131, México, 1987, pp. 62-68.
- Taiganides, Eliseo P., Rosario Pérez Espejo, Ester Girón Sánchez. *Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México*, México, Consejo Mexicano de Porcicultura, 1996, pp. 29-30.