

PORCICULTURA Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA PIEDAD, MICHOACÁN, MÉXICO

Rosario PÉREZ

Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, Torre 2 de Humanidades, Coyoacán 04510, México D.F., Tel. 5623-0163, Fax: 5623-0128, correo electrónico: espejo@servidor.unam.mx

(Recibido abril 2000, aceptado noviembre 2000)

Palabras clave: porcicultura, agua, contaminación

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es abordar algunos de los problemas ambientales más importantes que genera la producción de cerdos en la región integrada por La Piedad, Michoacán y Santa Ana Pacueco, Guanajuato en el recurso agua y los posibles efectos de la normatividad sobre las descargas de agua residual en esta actividad. Se describen las formas como se usa el agua en las granjas y los sistemas de manejo y tratamiento de excretas y agua residual. Los resultados que se exponen provienen de una encuesta levantada en la región y de los análisis de las muestras de agua residual tomadas en un grupo de granjas. Se concluye que en la mayor parte de las granjas existe un uso ineficiente del agua y que los sistemas de tratamiento no están correctamente dimensionados y, por tanto, no funcionan de manera adecuada. Los niveles de remoción de contaminantes son bajos y, en todos los casos, rebasan los límites máximos permitidos por la norma. Por último, se señalan un conjunto de razones por las cuales se concluye que la estrategia reguladora en vigor no es la más conveniente para el caso de la porcicultura.

Key words: pig production, water, pollution

ABSTRACT

The objective of this article is to review the main environmental problems related to pork production in the region of La Piedad, Michoacán and Santa Ana Pacueco, Guanajuato and the expected effects of the actual regulation on pig production waste water management. It describes the ways in which the water is used in the pig farms and the wastes and waste water treatments. The results in this paper come from a survey applied in the region and the waste water samples taken from a group of farms. It concludes that in most pig farms the use of water is inefficient, the waste water systems are not well designed and, as a result, they don't work conveniently. The level of the contaminants removed is low and, in all the cases, the parameters are beyond the minimum approved levels of the regulation. Finally, some reasons were done that point out why the actual regulatory strategy in the case of pig production were mentioned.

INTRODUCCIÓN

La porcicultura es la tercera ganadería más importante del país; el inventario porcino es de aproximadamente 14 millones de cerdos, la producción de carne es de 966 mil ton (el 23 % de la producción total de cárnicos) y el consumo *per capita* asciende a 12 kg por habitante (SAGAR 1998). También es significativa porque ocupa de manera indirecta grandes extensiones para el cultivo del sorgo y de la soya, principales insumos para la alimentación de los cerdos; porque genera una compleja cadena de producción, transformación, industrialización y comercialización de productos (alimentos balanceados, equipo e instalaciones para granja, medicinas y agentes biológicos veterinarios, embutidos y carnes frías, etc.) y porque es una de las actividades pecuarias que mayor impacto tiene en el ambiente por la cantidad y tipo de residuos que genera (Scialabba 1994, Steinfeld 1998).

A pesar del importante desarrollo alcanzado por la porcicultura mexicana en los últimos 20 años, sus características fundamentales siguen siendo su gran heterogeneidad productiva, su dependencia del exterior en la obtención de pie de cría e insumos alimenticios y la falta de "internalización" de sus costos ambientales.

En la producción porcina se generan productos de valor económico que son apropiados en forma privada y residuos, principalmente excretas y agua residual, que si no son asimilados por la naturaleza, se transforman en un problema cuyo impacto y solución representan una "externalidad" (Bhom 1997), esto es, un costo para la sociedad y no para el productor.

Aunque los residuos porcinos originan gases nocivos que afectan el aire como metano, amoníaco, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico (Taiganides 1992), el impacto más severo de las excretas y del agua residual (AR) porcina, cuyos ingredientes son heces y orina, agua, alimento desperdiciado, paja, suelo y otras partículas, es en el recurso agua.

Las tasas de excreción de heces y orina (HyO)¹ dependen de múltiples factores, entre ellos edad del animal, sexo, madurez fisiológica, cantidad y calidad del alimento ingerido, volumen del agua consumida, clima y otros menos importantes. Se acepta que una unidad de producción animal (UPA) que equivale a 100 kg de peso vivo, excreta 6.17 kg/día de HyO (Taiganides *et al.* 1997) o bien que el cerdo en engorda genera 6.5 litros/día de AR (Generalitat de Catalunya 1995).

Los problemas ambientales que genera la porcicultura en México, son el resultado de la adopción de un modelo de crecimiento que tiene las siguientes características:

- Altamente especializado, que se integra con la agricultura sólo en forma limitada y poco técnica.

- Concentrador de la piara en un número cada vez menor de grandes unidades.
- Con una importante presencia en zonas periurbanas y urbanas.
- Con sistemas de alimentación ricos en proteínas que el aparato digestivo del cerdo no puede asimilar en su totalidad.
- Carente de personal capacitado en el manejo de residuos.

A este modelo de crecimiento pernicioso para el ambiente, el poricultor le ha agregado (Pérez 1999):

- Resistencia para enfrentar problemas ambientales por considerarlos sólo como un costo y no como un beneficio.
- Escaso conocimiento de las tecnologías de tratamiento y sus costos.
- Poca información acerca de la legislación ambiental, fiscal y de las normas vigentes.
- Irregularidades administrativas relacionadas con el uso del agua.
- Politización de los problemas ambientales.

México es un país con recursos hidráulicos pobres y mal distribuidos (Alcocer y Escobar 1996); paradójicamente, aunque los cerdos están presentes en todo el territorio, su concentración es significativadonde el recurso agua presenta los mayores problemas de contaminación, como es el caso de la cuenca del río Lerma que se encuentra entre las cinco más contaminadas del país.

De las industrias más importantes de la cuenca por el número de descargas, la pecuaria ocupa el segundo lugar con 645 descargas (Hansen *et al.* 1995). Esta actividad está representada fundamentalmente por la producción de cerdos en las zonas de La Piedad² en Michoacán y Santa Ana Pacueco, Pénjamo, Abasolo e Irapuato en Guanajuato, donde se localiza la mayor cantidad de animales (Pérez 1987).

De acuerdo con el estudio de Hansen *et al.* (1995), La Piedad no hace una aportación significativa a la contaminación por metales pesados, pero en cambio, suministra valores altos para zinc, plomo y cobre en los sedimentos depositados, lo que coincide con mayores concentraciones de materia orgánica, proveniente de las granjas porcinas en La Piedad, que funciona como atrapadora de metales.

Durante tres décadas y hasta 1985, La Piedad fue la zona porcícola más importante del país donde se engordaban más de un millón de cerdos al año (Chapela y Mendoza 1983, Pérez 1987). A pesar de que el inventario porcino había descendido a 400 mil cabezas en 1999 (Asociaciones Locales de Porcicultores de La Piedad, Michoacán y Santa Ana Pacueco, Guanajuato 1999), la producción de cerdos continúa siendo la actividad de mayor relevancia económica en la región pero también la más contaminante.

Además de las descargas de las granjas porcinas, en

¹ 45% de la excreta es orina, 55% son heces; el contenido de humedad es de 88%; cerca del 90% de los sólidos se excretan en las heces y el 10% en la orina como minerales: potasio, fósforo y amoníaco-nitrógeno.

² En el artículo se hará referencia a La Piedad, en el entendido de que también se alude a Santa Ana Pacueco.

su tránsito por La Piedad, el río Lerma recibe también las aguas negras de la ciudad, que pese a contar con una enorme planta de tratamiento desde hace cinco años, todavía a fines de 1999 seguía sin funcionar por errores cometidos en su construcción que hacen sumamente costosa su operación.

El nivel de deterioro del río en el tramo de La Piedad ocasiona la incidencia de enfermedades gastrointestinales y de las vías respiratorias cuyos principales vectores son la elevada proliferación de moscas y mosquitos. El lirio acuático, que representa una manifestación de contaminación por fósforo, constituye una severa plaga acuática en la parte del Lerma que bordea a la ciudad.

METODOLOGÍA

Con el objeto de conocer los problemas relacionados con el uso y el manejo del agua en las granjas porcinas de La Piedad, durante el primer semestre de 1999 se levantó una encuesta con base en una muestra estratificada por asignación en 33 granjas, se realizaron entrevistas a porcicultores y funcionarios y se tomaron muestras de agua residual en 11 granjas, que representan el 33% del total de granjas encuestadas, para analizar los contaminantes más importantes que se vierten a terrenos y cuerpos de agua.

Con el apoyo de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México y con la colaboración de los porcicultores que aceptaron participar en la encuesta, se tomaron muestras de agua residual en granjas que se consideraron representativas del tamaño de granja y de los sistemas de tratamiento.

Se analizaron 12 parámetros de la norma oficial mexicana sobre descargas de aguas residuales³, 7 fisicoquímicos: potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), grasas y aceites (GyA), sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno total (N), fós-

foro total (P); 4 metales pesados arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) y un bacteriológico: coliformes fecales (CF).

Los parámetros incluidos son los típicos de las aguas residuales porcinas, eliminándose aquellos que aunque están presentes, su concentración es despreciable. De la Ley Federal de Derechos se incluyeron los parámetros sobre los que se puede exigir el pago de un derecho por presentarse en magnitudes que rebasen los límites máximos permitidos (LMP) de contaminantes de la norma pero económicamente no.

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizaron en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México; los metales pesados en el Centro Nacional de Servicios de Constatación en Salud Animal de Jiutepec, Morelos y los coliformes fecales en el Laboratorio de Diagnóstico del Subcomité Pecuario de La Piedad, Michoacán.

Dado que la norma sobre descarga de aguas residuales señala fechas de cumplimiento en función de la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST)⁴ o de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) generados por la descarga, para el caso de las granjas porcinas se seleccionó el primer parámetro ya que en este tipo de descarga se encuentra en una relación de 3 a 1 con la DBO.

La finalidad era estratificar las granjas según fecha de cumplimiento, que en cierta forma es hacerlo por tamaño, para detectar si la existencia de una regulación sobre descarga de agua residual influía en las decisiones de inversión y de manejo de residuos.

De acuerdo con la información de las Asociaciones Locales de Porcicultores de La Piedad, Mich. y Santa Ana Pacueco, Gto., 7 granjas producían más de 3 ton de SST/día y por norma tenían que cumplir con los LMP, el 1 de enero de 2000. En el estrato de granjas medianas había 33 unidades con producción entre 1.2 y 3.0 ton de SST/día y fecha de cumplimiento el 1 de enero de 2005 y 68 gran-

TABLA I. MUESTRA CALCULADA Y MUESTRA LEVANTADA

ESTRATO	Nº de granjas	Muestra calculada	% muestra calculada /total granjas	Muestra levantada	% muestra levantada / total granjas
Grandes	7	5	71	3	43
Medianas	33	13	39	10	30
Pequeñas	68	17	26	20	29
Total	108	35	33	33	31

Fuente: encuesta

³ Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. En adelante, sólo norma.

⁴ Un cerdo de peso promedio (54 kg) en una granja promedio, excreta aproximadamente 331 gramos de SST/día (Taiganides *et al.* 1997).

TABLA II. AGUA RESIDUAL GENERADA POR POBLACIÓN PORCINA EN PIE

Tamaño granja	Agua residual promedio AR (m ³ /día)	Población porcina en pie promedio PPP (cabezas)	AR/PPP (m ³ /día*PPP)
Grande	135.8	17,546	7.7
Mediana	41.2	5,608	7.4
Pequeña	43.5	2,082	20.9

Fuente: encuesta

jas pequeñas que tienen de plazo al 2010 para adaptarse a la norma.

El tamaño de muestra resultante fue de 35 granjas; de éstas 5 (71 % del total) fueron grandes, 13 (39 % del total) medianas y 17 (25 % del total) pequeñas (**Tabla I**). Las granjas se escogieron en forma aleatoria del listado proporcionado por las Asociaciones.

RESULTADOS

Uso de agua y calidad de agua residual

La información sobre la cantidad y la calidad del agua empleada y la descargada en una granja porcina, son datos fundamentales para el diseño y costeo de los sistemas de tratamiento y para el cálculo del pago de derechos. La inversión en sistemas de tratamiento y el pago de un derecho por rebasar los LMP por la norma, son formas de internalizar el costo ambiental a partir de medidas reguladoras conocidas como medidas de “comando y control”, vigentes en la mayor parte de los países.

No obstante la importancia de esta información, en la región de La Piedad hay un desconocimiento prácticamente generalizado acerca de ella; las granjas no cuentan con medidores y los porcuicultores estiman el agua que se consume en la granja en forma indirecta y, por lo regular, poco precisa.

Para tener el dato del volumen de agua residual generada en la granja, a la estimación del porcuicultor sobre el agua de abasto se aplicó el 82% que sugieren los manuales sobre porcicultura y residuos porcinos (Taiganides *et al.* 1997, Generalitat de Catalunya 1995). Un número importante de porcuicultores encuestados (36%) no pudo estimar, ni en forma aproximada, la cantidad de agua que usan.

Las granjas pequeñas generan una cantidad de agua residual por unidad de producción animal que es casi tres veces mayor que el reportado por granjas medianas y grandes. Estos resultados (**Tabla II**) coinciden con los en-

contrados en otro estudio sobre el tema realizado en el estado de Yucatán (Drucker *et al.* 1997).

En la región de estudio, las granjas pequeñas tienen sistemas de limpieza poco eficientes, hay desperdicio de agua y no son vigiladas como sucede con las grandes. Pero a diferencia de otras regiones, en La Piedad la cantidad de agua empleada en las granjas, y por tanto la descargada, es muy reducida; el 42 % de las unidades genera no más de 10 litros de agua residual al día por población porcina en pie⁵ (AR/día*PPP); el 18 % descarga entre 10 y 20 litros AR/día*PPP y el 16 % entre 20 y 40 litros AR/día*PPP.

Sobre la calidad del agua residual-dato todavía más difícil de obtener-influyen muchos factores: genética, alimentación, temperatura del ambiente, funcionamiento del sistema de tratamiento, cantidad de agua de consumo empleada, variaciones en el inventario porcino y la acuciosidad con que se tomen las muestras de agua residual y se lleve a cabo su análisis.

La Ley Federal de Derechos obliga a todas las granjas a hacer análisis de agua de pozos y de agua residual pero como son caros y complicados, sólo el 42 % de los porcuicultores había analizado el agua de pozos y el 57 % el agua residual.

En sentido estricto, los análisis que han realizado los porcuicultores no cumplen con lo estipulado en la norma, porque las autoridades de Guanajuato y de Michoacán los han eximido de analizar algunos parámetros, entre ellos, los metales pesados, argumentando que no se presentan en concentraciones importantes.

La oficina de Celaya sugiere eliminar algunos parámetros y la de Morelia otros, por lo que no existe información sobre los mismos parámetros en todas las granjas (**Tabla III**). Por otra parte, en La Piedad no hay laboratorios que tengan certificadas las pruebas que establece la normatividad y las muestras deben ser transportadas a Irapuato o a Morelia donde se encuentran los laboratorios certificados⁶ más cercanos.

La escasez de agua en la región no impone un patrón general de lavado; hay granjas que lavan las engordas

⁵ La población porcina en pie (PPP) es una cabeza de ganado de peso promedio aproximado de 54 Kg.

⁶ Lo que la autoridad (Entidad Mexicana de Acreditación) certifica son las pruebas para ciertos parámetros y no el laboratorio en sí.

TABLA III. ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL REALIZADOS POR LOS PORCICULTORES

No. Folio	Fecha	Hora	Parámetros de laboratorio				pH	SSed mg/L	T °C	N mg/L	P mg/L	CF NMP/100ml
			G y A mg/L	DBO mg/L	SST mg/L	Mat. flot.						
5	14-ene-99	8:30	14.04	56.00	145.00		7.96		12	16.00		260
14	12-jun-99	11:30	56.60	550.00	589.74		7.55					4.8•10 ⁶
4	28-jul-98	11:00	8.64	76.57	290.00	ausente	7.80	0.20	23		82.96	
16	*	*	20.00	200.00	200.00	ausente	7.50	5.00	35	3.0 ¹⁾		10000
9	27-ene-99	*	40.02	899.80	3410.90			0.40		757.07	3.66	240
10	*		12.75	59.58	129.50		8.391					
11	*		12.10	96.36	123.32		8.75		14	19.84		605.71
29	29-jul-98	12:00	7.45	241.11	190.00	ausente	8.10	0.90	23		119.5	
20	12-jun-98	10:30	37.70	550.00	520.00	ausente	7.51					2.2•10 ⁶
27	9-jun-98	*	72.90	4669.80	318.00		8.40			1426.88	52.09	4
33	*	7:30	9.28	98.12	151.43		8.57		15	21.33		765.00

Fuente: encuesta

* Sin dato

todos los días y otras lo hacen sólo cuando vacían los corrales. En algunas granjas se descargan las charcas semanalmente, en otras sólo se palean las excretas empleando un mínimo de agua. La engorda puede lavarse cada dos meses, pero en cambio los destetes se lavan diario. Precisar la hora, día y lugar para tomar una muestra representativa de la descarga no es asunto sencillo y difiere para cada granja.

Por último, se depende de la buena voluntad del porcicultor para que permita tomar las muestras de agua y de su probidad para no alterar la descarga.

De los resultados de los análisis de agua realizados en la investigación se puede destacar lo siguiente:

- Existen notables diferencias entre los resultados de los análisis de agua proporcionados por los porcicultores y los realizados en la investigación. Aunque en una misma granja la calidad del agua residual varía significativamente (Drucker *et al.* 1997), las diferencias no deberían ser tan grandes como las encontradas.

Los niveles de los parámetros reportados por los productores siempre están por debajo de los hallados en la investigación (Tabla IV).

- Todas las granjas, independientemente del sistema de tratamiento empleado, presentan por lo menos un parámetro que rebasa los LMP de la norma, lo que significa que tendrán que pagar el derecho correspondiente. Las granjas que no paguen por parámetros básicos lo tendrán que hacer por coliformes fecales cuando se descargue a terreno agrícola.
- La concentración de los metales pesados realmente no fue significativa encontrándose muy por debajo de los LMP de la norma. Era importante realizar este tipo de análisis porque tanto el cobre como el zinc son incluidos en los alimentos balanceados como promotores de crecimiento.
- Para las granjas que descargan agua residual al suelo con fines de riego agrícola, la norma establece que DBO, SST, N, P y GyA, no son aplicables. El parámetro crítico

TABLA IV. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA. INVESTIGACIÓN Y PORCICULTORES

Granja	DBO		SST		N		P		G y A		CF	
	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P
1	1408	900	7750	3411	1520	757	291	4	235	40	1100	240
2	1525	96	3840	123	861	20	49	s.i.	152	12	s.i.	607
3	2758	550	7480	590	448	s.i.	2226	s.i.	212	57	1100	s.i.
4	85802	550	20020	520	1260	s.i.	77	s.i.	120	38	1100	2.2•10 ⁶
5	580	77	836	290	868	s.i.	64	83	29	9	s.i.	s.i.
6	1185	56	83	145	294	16	34	s.i.	17	14	1100	s.i.
7	s.i.	4669	s.i.	318	s.i.	1427	s.i.	52	s.i.	73	1100	s.i.
8	5107	200	390	200	924	3	46	s.i.	20	20	1100	s.i.

En mg/L; CF: 1000 NMP en 1000 mL, Fuente: encuesta, I: investigación, P: porcicultores

TABLA V. REMOCIÓN DE CONTAMINANTES Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Granja	Sistema de tratamiento	Descarga final	DBO	SST	N	P	G y A	Colif. Fec.
1	2 op. unit.	Lag. y dren.	406	322	1932	37	37	3500
2	trat. "completo"	Terr. agrícola	580	836	868	64	29	s.i.
3	trat. "completo"	Terr. agrícola	1185	83	294	34	17	1100
4	sin tratamiento	Arroyo	1408	7750	1520	291	235	1100
5	1 op. unit.	Río	1525	3840	861	49	152	s.i.
6	trat. "completo"	Laguna	2758	7480	448	2226	212	1100
7	1 op. unit.	Terr. agrícola	3497	7260	1316	230	105	1100
8	sin tratamiento	Dren	3943	3410	952	123	983	1100
9	trat. "completo"	Arroyo	5107	390	924	46	20	1100
10	1 op. unit.	Terr. agrícola	9960	6190	1129	78	161	1100
11	trat. "completo"	Río	85802	20020	1260	77	120	1100

Fuente: encuesta

co para estas granjas son las coliformes fecales. Todas las granjas de la encuesta rebasan los 1000 como número más probable (NMP) por 100 ml de agua residual que señala la norma como LMP; en estos casos, el pago del derecho se hará sobre la cantidad de agua residual descargada.

- Las granjas que tienen un tratamiento completo⁷ no son precisamente las que logran una mayor remoción de contaminantes. En el caso de la DBO, una granja con dos operaciones unitarias (digestor más laguna) consigue una mayor remoción que dos granjas con tratamiento completo y una que no tiene tratamiento arroja concentraciones menores de DBO que granjas con tratamientos completos (Tabla V). Estos resultados poco lógicos se deben a que los sistemas de tratamiento no están bien diseñados y funcionan mal o no funcionan y también porque se pueden hacer múltiples maniobras para disfrazar la calidad del agua.
- Cuando es una empresa particular la que toma y analiza las muestras, los costos son elevados y, pese a ello, los resultados son contradictorios.

Sistemas de manejo y tratamiento de residuales

La mayor parte de las granjas de la región fueron construidas hace más de veinte años; a partir de entonces han sido ampliadas, remodeladas, parchadas y reconstruidas, de acuerdo con las posibilidades económicas de los dueños y a las señales enviadas por el mercado en determinados momentos. El resultado es una infraestructura física mezcla de lo antiguo y lo moderno, lo funcional y lo disfuncional.

En la limpieza de las naves se combinan métodos que usan el agua en abundancia como son el "flushing", la

manguera y las charcas (33 %), con métodos en seco por paleo (33 %), más una mezcla de todos: manguera, charcas y paleo: 33%. Ni la red de drenaje, ni los sistemas de limpieza, ni la infraestructura de comederos y bebederos reflejan la escasez de agua en la región.

Ya sea por medios manuales o por mecánicos, un conjunto importante de granjas (60 %) separan sólidos; entre las granjas pequeñas está más difundida la práctica de separación con pala. La costumbre de acumular los sólidos separados fuera de las granjas abarca al 15 % de las unidades, todas ellas pequeñas, ocasionando disturbios como olores, moscas y patógenos. Las granjas medianas y algunas de las pequeñas retienen los sólidos dentro de la granja (42 %), pero en ningún caso lo hacen bajo techo.

Por deficiencias en la infraestructura de las granjas, pasan a formar parte del agua residual los materiales que caen a los drenajes cuando estos son a cielo abierto (42 % de las granjas), los que se acumulan en las áreas abiertas y el agua de lluvia cuando no existen drenajes pluviales (85 % de los casos).

La inadecuada infraestructura sumada a un incorrecto manejo de la basura, ocasiona que se deba almacenar, coleccionar y tratar un volumen de agua residual mucho mayor que el estrictamente necesario en condiciones óptimas.

La mitad de las granjas han construido un cárcamo, instalación necesaria para suavizar las fluctuaciones de las descargas, homogeneizar la mezcla para bombearla posteriormente a una segunda operación unitaria de tratamiento y sedimentar parte de los sólidos, pero innecesaria en los tratamiento aerobios.

Curiosamente, la cuarta parte estas granjas son pe-

⁷ Se consideró tratamiento completo la presencia de tres operaciones unitarias.

TABLA VI. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

OPERACIONES UNITARIAS	% de granjas
Tratamiento "completo"	45.5
Dos operaciones unitarias	27.2
Una operación unitaria	9.1
Sólo laguna	9.1
Sin tratamiento	9.1
Total	100.0

Fuente: encuesta

queñas, no obstante que para este tipo de granjas sería más recomendable instalar un biodigestor, ya sea de concreto o de plástico.

En las etapas de almacenamiento y tratamiento la infraestructura incluye fosas, charcas (pequeñas lagunas sin revestimiento), lagunas, digestores, decantadores, canales de oxidación, más equipo asociado como son bombas, cribas, rejillas y diferentes tipos de separadores.

Para acotar la heterogeneidad del equipo e infraestructura de almacenamiento y manejo, los procesos encontrados en las granjas se clasificaron en una y dos operaciones unitarias (distintas combinaciones de recolección, almacenamiento, separación y tratamiento), tratamiento "completo" cuando incluyó tres procesos, por ejemplo, recolección en un cárcamo, separación manual o mecánica y laguna, sólo laguna y cero tratamiento.

De acuerdo con la información obtenida de la encuesta, únicamente el 9 % de las granjas en el espacio de estudio carecen por completo de tratamiento; el 27 % cuenta con un mínimo de dos operaciones unitarias; poco menos del 50 % tienen un sistema de tratamiento "completo" (Tabla VI).

De las granjas que cuentan con un sistema de tratamiento "completo", el 100 % son grandes, 50 % medianas y 35 % pequeñas, estructura que puede responder a la gradualidad normativa. Sin embargo, en términos relativos, esto es, en pesos por unidad de producción animal (\$/UPA), las granjas pequeñas han realizado una inver-

sión mayor que las granjas medianas y grandes (Tabla VII), esfuerzo que afecta su nivel de ingreso y su capacidad para competir. Esto significa que la norma vigente es regresiva en términos redistributivos y coadyuva a concentrar la producción.

Un dato que se debería tomar en cuenta para la instalación de un sistema de tratamiento es el tipo de cuerpo receptor, pues los LMP para los contaminantes cambian de acuerdo con el cuerpo receptor e incluso es otra la norma que regula la descarga. Una granja de la muestra deberá cumplir con lo establecido por la NOM-002-ECOL-1997 porque descarga al alcantarillado municipal; los LMP para esta granja son más laxos que para las granjas reguladas por la NOM-001-ECOL-1996.

El 51.6 % de las granjas descargan en terreno agrícola, el 33 % en un cuerpo de agua propiedad de la nación, 12 % en una laguna de "descarga cero" y el 3% en el alcantarillado municipal.

El cruce de variables entre sistema de tratamiento y cuerpo receptor indica que todas las granjas que carecen de sistema de tratamiento descargan en cuerpos de agua propiedad de la nación: río Lerma, cañada de Ramírez, dren de alivio y otros arroyos. En teoría, estas granjas serán las más presionadas por la autoridad según su fecha de cumplimiento.

Casi la mitad de las granjas que tienen tratamiento completo descargan en terrenos agrícolas aunque bastaría con una laguna para estar dentro de los LMP para metales pesados y cianuros, puesto que los parámetros básicos no se aplican en este caso.

El monitoreo de cuerpos de agua de la Comisión Nacional del Agua detecta continuamente la presencia de coliformes fecales, indicadores de la presencia de otros patógenos, en la mayor parte de los recursos hídricos del país. La preocupación razonable de la CNA al respecto se tradujo en la imposición de un LMP para este patógeno de 1000 coliformes fecales como NMP por 100 ml de agua.

Establecer este límite a la descarga de agua residual en cuerpos receptores que son aguas propiedad de la nación sigue siendo razonable, pero ya no lo es cuando se extiende a la descarga al suelo para riego agrícola. En la región de La Piedad, el riego con agua residual se aplica por rodeo a granos y forrajes; por lo tanto, la probabilidad de que los patógenos se dispersen en el ambiente son mínimas.

Una de las soluciones es agregar cloro al agua residual; sin embargo, esto resulta caro y, en opinión de algunos expertos, contraproducente en términos ambientales por las reacciones que produce el cloro al mezclarse con otros componentes.

Ningún sistema de tratamiento podrá abatir las coliformes fecales de la descarga de granjas porcinas a los límites que exige la norma; se necesitaría usar desinfectantes, pero entonces el costo de tratamiento au-

TABLA VII. INVERSIÓN TOTAL EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO (ITST) (en pesos)

Tamaño de granja	Inversión promedio	ITST/UPA (\$/UPA)	%
Grande	915,509	76.9	100.0
Mediana	270,247	85.9	126.5
Pequeña	101,911	106.2	138.1
Total	218,289	87.3	113.5

Fuente: encuesta

mentaría y se obstaculizaría el funcionamiento de los tratamientos biológicos.

Los sistemas de tratamiento del espacio de estudio corresponden a la clasificación convencional que los agrupa en primarios, que corresponden a tratamientos físicos y secundarios, que son tratamientos biológicos o una mezcla de físicos y biológicos. En la encuesta levantada no se encontraron granjas que utilizaran tratamientos químicos u otros más sofisticados y caros como son los terciarios.

Tampoco se hallaron biodigestores plásticos de flujo continuo, clarificadores, plantas de evaporación de líquidos para estabilización del pH, sistemas de lodos activados o los llamados sistemas de "descontaminación productiva" (Chará 1998).

De acuerdo con los resultados de los análisis de agua, los sistemas de tratamiento completos no están removiendo ni el 80 % de la carga orgánica, tarea que podría realizar una sola laguna si estuviera bien diseñada (Moser 1997).

Los residuos porcinos no sólo son un elemento que contamina el ambiente, sino un insumo de valor económico. En la región, 82 % de los productores reciclan residuales; 30 % lo hace en la agricultura y en la alimentación animal; 75 % emplea los sólidos como fertilizantes y el agua residual en riego agrícola; 30 % de los porcicultores vende los sólidos como fertilizantes y 15% "traspasa" agua residual a productores agrícolas.

El transporte de excretas y la transferencia de agua residual, deben ser reglamentadas para que no ocasionen disturbios.

CONCLUSIONES

La estrategia ambiental basada en medidas de "comando y control" y plasmada en la NOM-001-ECOL-1996 no es adecuada para regular las descargas de agua residual de granjas porcinas por las siguientes razones:

Primera, se trata de una norma genérica que no distingue las peculiaridades de cada actividad; las descargas porcinas requerirían de un tratamiento terciario y no de uno secundario⁸ para cumplir con los LMP de la norma.

Segunda, porque atiende la manifestación del problema (la descarga) pero no su origen, que son los procesos, en el caso de la porcicultura los insumos alimenticios y el manejo de la granja.

Tercera, porque se basa en un conocimiento de la actividad y de la solución del problema que la autoridad

no tiene y cuya adquisición sería costosa.

Cuarta, porque los productores, no importa cuánto tiempo y dinero dediquen a mejorar la calidad de la descarga, ésta, medida a través de análisis de agua y de concentraciones de contaminantes, nunca va a tener la exigida por la norma para que los exima del pago de un derecho.

Quinta, la mejoría de la calidad del agua de los cuerpos receptores, en este caso del río Lerma, puede ser canjeado por el pago de un derecho.

Sexta, la autoridad no cuenta con los recursos humanos y presupuestales para la vigilancia y seguimiento de la norma y de esta manera, puede quedar en letra muerta.

Séptima, el razonamiento de la autoridad para definir la gradualidad en el cumplimiento ambiental, era que al 1 de enero del 2000 se aseguraba el control del 80 % de la contaminación por parte de "los grandes contaminadores". Sin embargo, en el espacio y actividad de estudio, son las granjas medianas las que generan casi la mitad de la carga orgánica proveniente de granjas porcinas y éstas tienen hasta el año 2005 para cumplir con la norma.

Octava, las granjas grandes y pequeñas contribuyen en la misma magnitud a la contaminación; tanto las primeras (6 % de las granjas) como las segundas (68 % de las granjas) aportan el 23 % de los SST. Sin embargo, la carga orgánica generada por las granjas pequeñas tendrá que esperar más de diez años para ser removida, no obstante que existe tecnología sencilla y de bajo costo que podría aplicarse desde ahora.

Novena, la norma es regresiva en términos distributivos, pues los productores pequeños realizan una inversión proporcionalmente mayor que los grandes productores para cumplir con los LMP, lo que afecta su nivel de ingreso y su competitividad.

El porcicultor ha construido infraestructura de tratamiento, particularmente lagunas, y ha adquirido equipo que muchas veces no utiliza, pero lo ha hecho por presiones de la autoridad y sin un soporte técnico adecuado. Ha invertido, ha "internalizado" parte del costo ambiental, pero no logra cumplir con la normatividad y, lo que es todavía peor, no mejora la calidad del ambiente y por lo tanto la calidad de vida de los lugareños.

La Ley Federal de Metrología y Normalización establece que las normas se pueden revisar y, en su caso modificar, cada cinco años; en esta situación estará en 2001 la NOM-001-ECOL-1996. Se considera necesario hacer varios cambios a esta norma; no debe seguir siendo una norma genérica, debe haber una específica para la porcicultura; se debe modificar su gradualidad,

⁸ El análisis costo-beneficio de la norma se basa en un tratamiento secundario para remover contaminantes de aguas residuales municipales y de determinadas industrias.

los problemas de contaminación de agua no pueden esperar diez años más; los LMP para algunos de sus parámetros, por ejemplo, coliformes fecales, deben ser diferentes. No obstante, es mejor contar con una norma a que no haya ninguna; la porcicultura no fue regulada hasta que entró en vigor la NOM-001-ECOL-1996.

Sin embargo, el problema ambiental y, en especial, el de contaminación del agua, no se va a resolver sólo a nivel de legislación con más normas y regulaciones cuya vigilancia es sumamente difícil. Se requiere la concurrencia de otros factores para llegar a un esquema exitoso de control de la contaminación del agua, principalmente en el terreno de la educación, la investigación, la capacitación y el financiamiento.

Asimismo, es necesario un mayor desarrollo institucional y la coordinación efectiva entre las dependencias del sector público que intervienen en el ambiente y el desarrollo agropecuario.

REFERENCIAS

- Alcocer J. y Escobar E. (1996). Limnological regionalization of Mexico: lakes and reservoirs. *Res. Manag.* 2, 55-69.
- Bohm P. (1997). *The Economics of Environmental Protection*. Edward Elgar Pub, Gran Bretaña, 378 p.
- Chapela y Mendoza G. (1983). La producción porcina en la región de La Piedad. *Rev. Geograf. Agríc.* 3, 135-150.
- Chará J. (1998). El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. Memorias del Seminario Internacional sobre Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina. CIPAV-ACP. Cali, Colombia pp. 49-67.
- Diario Oficial de la Federación (1997). NOM-001-ECOL-1996, Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. DOF, México D.F., pp. 68-86.
- Drucker A. (1997). *Normatividad ambiental, producción porcícola e incentivos económicos*. FMVZ-Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida. Inédito.
- Generalitat de Catalunya (1995). *Manual de gestió dels purins de la seva reutilització agrícola*. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 128 p.
- Hansen A., León A. y Bravo L. (1995). Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. *Ingeniería Hidráulica en México X*, pp. 55-69.
- Moser M. (1997). Tratamiento de residuales porcinos para uso en riego agrícola. Seminario manejo y reciclaje de residuales porcinos. Galindo, Qro., pp. 13-17.
- Pérez R. (1987). *Aspectos económicos de la porcicultura en México: 1960-1985*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM - Asociación Americana de Soya, México D.F., 370 p.
- Pérez R. (1999). *Porcicultura intensiva y medio ambiente en México*. *Revista Mundial de Zootecnia*. FAO, Roma, Vol. 1, pp. 15-24.
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural) *Anuarios de Producción Agrícola* (varios años), México D.F.
- Scialabba N. (1994). *Los residuos del ganado y el medio ambiente*. FAO, Roma, 27 p.
- Steinfeld H. (1998). Livestock-environment interactions in industrial production systems. Livestock and the environment. International Conference. Ed. Arend J. Nell. Wageningen, pp. 170-179.
- Taiganides E. P. (1992). *Pig Waste Management and Recycling. The Singapore Experience*. International Development Research, Ottawa, 368 p.
- Taiganides E. P., Pérez R. y Girón E. (1996). *Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. México, 141 p.