

¿CONTAMINANTE O BIEN? LA IMPORTANCIA DEL VALOR DE LOS SUBPRODUCTOS EN LA DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS ANIMALES

ADAM G. DRUCKER^{*+}, VERÓNICA GÓMEZ GONZÁLEZ^{*}
Y SERGIO MAGAÑA RUEDA^{*}

INTRODUCCIÓN

La porcicultura en el estado mexicano de Yucatán ha sido una de las actividades más importantes para la economía regional. El último dato referente a la población porcina yucateca es de 1995,¹ el cual establece que llegó a estar formada por 617 000 unidades de población animal de 100 Kg (UPA). Se nota un rápido crecimiento entre 1991 y 1995, cuando el numero de UPA se cuadruplicó. Tal población está distribuida en 311 granjas, de las cuales 69% son chicas (de menos de 650 UPA). Sin embargo, 87% de los animales se encuentran en las granjas grandes y megas —de más de 6 000 y 10 000 UPA, respectivamente.²

Las características intrínsecas de la especie porcina y los manejos a que son sometidos estos animales son, en mediana o mayor escala, perjudiciales en términos ecológicos y sanitarios debido al impacto de sus

* Manuscrito recibido en septiembre de 1998; versión final, noviembre de 1998.

⁺ Departamento de Ecología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Apdo. 116-4 Itzimná, Mérida 97100, Yucatán, tel. (99) 42 32 06, fax (99) 42 32 06; correo electrónico: adrucker@tunku.uady.mx; vgomez@tunku.uady.mx

^{*} Departamento de Agricultura, Wye College, Universidad de Londres, Inglaterra. Se agradecen los comentarios de dos dictaminadores anónimos.

desechos, al escaso o nulo tratamiento que reciben y a su inadecuada disposición final.³ y ⁴ Los problemas más graves son causados por la trasmisión de gérmenes patógenos para los propios cerdos, para otros animales y hasta para los humanos, a través de la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, y por la misma intoxicación del suelo superficial. La contaminación del aire por olores puede ser también pronunciada, atrayendo especies ajenas e indeseables y alejando a especies propias del lugar.⁴ Finalmente, los cerdos producen gases y ruidos los cuales también representan problemas ambientales. Eventualmente, todas estas afecciones pueden generar rompimientos de las tramas ecológicas que dan soporte al ecosistema en su conjunto y hasta provocar la extinción de especies locales.

Yucatán se caracteriza por tener un suelo sumamente permeable y aguas subterráneas a muy 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 artesianos.⁵

El reconocimiento del impacto ambiental de las aguas porcícolas es inminente debido al virtual incumplimiento de las leyes ambientales y sanitarias por parte de muchas granjas. A menudo se señala que la mayor parte de ellas no cuenta con ningún sistema de tratamiento para sus aguas residuales, y algunos estudios preliminares del acuífero en sitios cercanos a las granjas muestran ya la presencia de materiales atribuibles a estas aguas residuales (sólidos en suspensión, coliformes y nitrógenos).⁶ y ⁷ De hecho, Gómez *et al.*³ estiman que en la actualidad, aproximadamente 37% del agua residual total generada diariamente en el estado de Yucatán ($16\ 700\ m^3$) no recibe ningún tipo de tratamiento.

Sin embargo, con la entrada en vigor de la nueva ley ambiental referente a la descarga de residuos de granjas porcícolas (LFDMA/NOM-001-ECOL), se espera que aumente el grado de tratamiento de los desechos porcinos. La probable efectividad de la legislación es considerada por Drucker *et al.*⁸ quien identifica las fallas principales y recomienda remedios potenciales.

Dicha ley establece estándares para la calidad del agua de descarga, los cuales determinan el tipo de tratamiento necesario y los costos aso-

ciados a éste. Sin embargo, si tomamos en cuenta la posibilidad de reciclar los residuos generados, los costos netos de convertir a las aguas residuales porcinas de contaminante potencial a un bien (por ejemplo cerdaña, metano y fertilizante en forma de agua de riego), parecen sugerir que los porcicultores podrían cubrir un gran porcentaje de los costos de tratamiento.

Esto nos lleva a revisar el concepto de desarrollo sustentable, el cual consiste precisamente en que el subsistema económico (en este caso, la producción porcícola), no crezca más allá de la escala en la que pueda ser permanentemente soportado por el ecosistema que lo contiene. Es por ello que en este contexto, el reciclaje de residuos juega un papel importante, asegurando que el flujo de insumos, seguidos por su conversión a productos y residuos, no sobrepase las capacidades de regeneración y absorción del ecosistema.⁹

Esto tiene importantes implicaciones tanto para los productores en términos de sus estrategias de tratamiento (esto es, elección de un sistema de tratamiento apropiado, realización de riego agrícola o no con las aguas tratadas, realización de cambios en el sistema de producción que permita la captura del valor de los subproductos, etc.) como para el desarrollo de políticas regulatorias (especialmente en términos de asegurar que se realice el riego agrícola de una manera ambientalmente sana).

LA LFDMA/NOM Y LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA DESECHOS PORCÍCOLAS

La entrada en vigor de la NOM-001-ECOL en diciembre de 1996 y su adecuación con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 1998 (LFDMA), establece requerimientos de tratamiento para el agua residual generada por las granjas porcícolas. Estos requerimientos tienen implicaciones financieras para las granjas, ya que las obliga a invertir en sistemas de tratamiento.^a Los puntos principales de la legislación se resumen a continuación.¹⁰

^a La autoridad reguladora local posee un considerable grado de autonomía para interpretar cómo es que la LFDMA/NOM será aplicada en la práctica a nivel local. Así, la descripción de la norma que se hace a continuación, se basa en la situación actual en Yucatán, por lo que pudiera diferir en ciertos detalles de su aplicación en otros lugares de México.

- Se especifican los parámetros máximos de concentración de descarga (véase tabla 1). Estos parámetros están divididos en tres zonas (con base en la vulnerabilidad a la contaminación), de las cuales la zona C presenta los estándares más estrictos. Las granjas son libres de establecer un sistema de tratamiento para cumplir con la LFDMA/NOM, o de pagar una cuota por descargar, basada en la magnitud en que dichas concentraciones exceden los estándares especificados (o límites máximos permisibles).
- Se ha declarado una exención de pago de las deudas contraídas con la Comisión Nacional de Agua (CNA) para todos aquellos productores que hayan regularizado su situación antes de la fecha límite y hayan presentado un programa de acción “para mejorar la calidad de sus aguas residuales, ya sea mediante cambios en sus procesos productivos o para el control o tratamiento de sus descargas”, que sea ejecutado antes de las fechas establecidas. Las fechas límite varían entre 30/6/97 y 31/12/99 para la presentación del programa de acción y 1/1/2000 y 1/1/2010 para la ejecución del programa, dependiendo de la cantidad de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y/o sólidos suspendidos totales (SST) que se descarguen.
- En caso de que no se realice riego agrícola con las aguas tratadas se considerará (en Yucatán) que el cuerpo receptor es el acuífero de acuerdo con la clasificación (esto es tipo A, B o C) que establece la LFDMA.
- Cuando el agua residual se utiliza para riego agrícola (como fertilizante, por ejemplo), la granja está exenta de cumplir los parámetros arriba mencionados y de pagar las cuotas de descarga, siempre y cuando se realice un tratamiento previo adecuado, se cumpla con los parámetros específicos que se muestran en la tabla 1 bajo la columna “Cuerpo receptor tipo A, Suelo con uso en riego agrícola”, y se pueda comprobar ante la CNA que la lámina de riego no es “demasiado grande”. Como casi ningún parámetro de calidad se define para el riego agrícola, la definición del tamaño de la lámina de riego es muy importante (y todavía falta una precisión normativa) para asegurar la calidad ambiental.

Tabla 1. Parámetros máximos permisibles para descarga, por cuerpo receptor

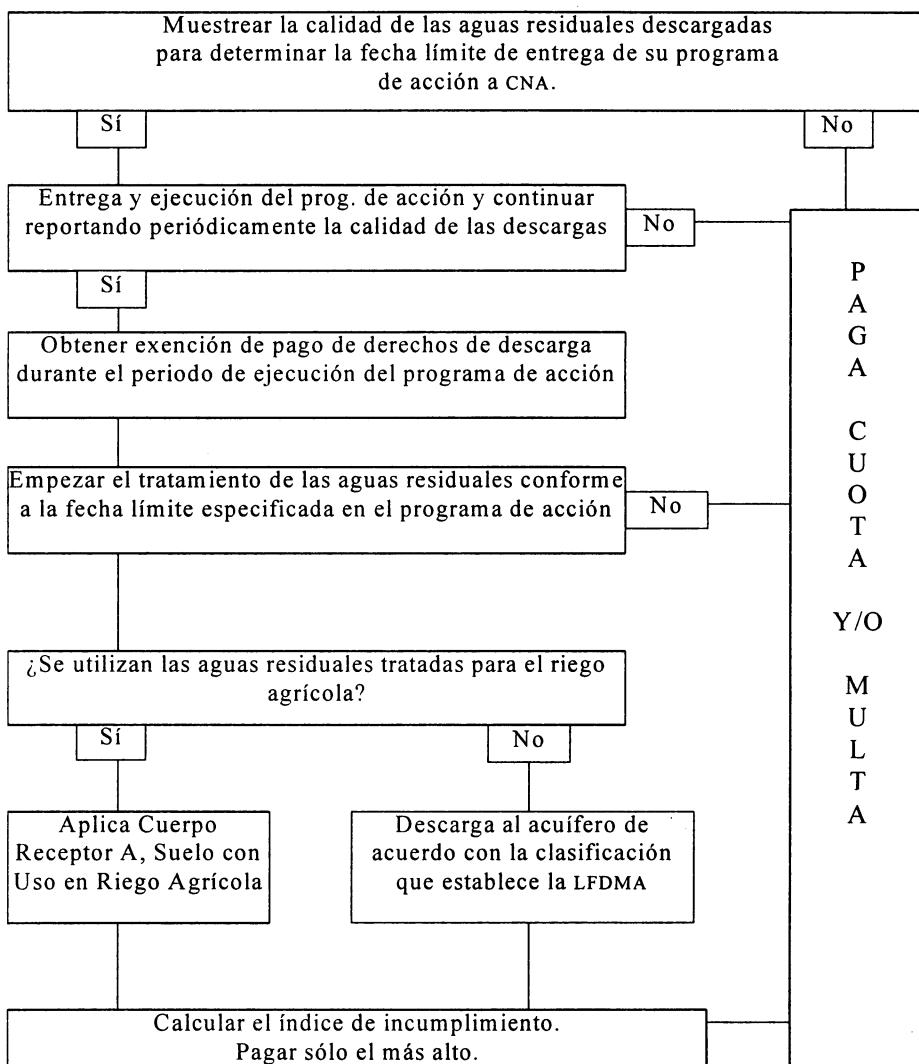
PARAMETROS* (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	CUERPOS RECEPTORES						TIPO C
	TIPO A		TIPO B		TIPO C		
Ríos con uso de riego agrícola: Acuífero	Aguas costeras con explotación pesquera, navegación y otros usos	Ríos con uso público urbano: Acuífero	Embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola	Aguas costeras con uso en recreación	Estuarios naturales	Ríos con uso en protección de vida acuática; embalses naturales con uso público urbano; Acuíferos	
P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.
Grasas y Aceites	15	15	15	15	15	15	15
Sólidos Suspendidos Totales	150	150	N.A.	75	75	75	40
Demandra Bioquímica de Oxígeno 5	150	150	N.A.	75	75	75	30
Nitrógeno Total	40	N.A.	N.A.	40	N.A.	15	15
Fósforo Total	20	N.A.	20	20	N.A.	5.0	5
Arsénico*	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Cadmio*	0.2	0.1	0.05	0.1	0.2	0.1	0.1
Cianuros*	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
Cobre*	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4	4.0
Cromo*	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5
Mercúrio*	0.01	0.01	0.005	0.005	0.01	0.005	0.005
Níquel*	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Pbomo*	0.5	0.2	5.0	0.2	0.5	0.2	0.2
Zinc*	10	10	10	10	10	10	10

(*) Medidos de manera total; N.A = No Aplica; P.M. = Promedio Mensual; *Además se establece que para coliformes fecales el límite máximo permisible es de 1,000 como número más probable (NMP) por cada 100 mililitros; el potencial Hidrógeno (pH) debe estar entre 5 y 10 unidades.

Fuente: LFOMA/NOM. pp. 92-93.

El proceso de cumplimiento con la LFDMA/NOM-001 se presenta en la figura 1.

Figura 1. *El proceso de cumplimiento con la LFDMA/NOM -001-ECOL*



Los niveles en los que las multas y/o cuotas de incumplimiento por descarga se establecen, son lo suficientemente altos como para inducir la instalación de sistemas de tratamiento en las granjas porcícolas. Al mismo tiempo, la alta concentración de las aguas residuales porcícolas significa que el tratamiento necesario para alcanzar los parámetros especificados en la LFDMA/NOM para el caso del acuífero como cuerpo receptor, sería mucho más caro que tomar ventaja de la exención para riego agrícola. Es por ello que el siguiente análisis de costos de tratamiento asume que todas las granjas intentarán utilizar sus aguas residuales para fines de riego. Este uso de las aguas para riego implica cuestiones de disponibilidad de tierra, las cuales también son consideradas (véase hipótesis 3, más adelante).

IMPACTO ECONÓMICO DE LA LFDMA/NOM –001

Un análisis económico del impacto de la LFDMA/NOM debiera incluir tanto los costos y beneficios *insitu* como *exsitu*, así como el valor económico de cualquier costo y beneficio ambiental.

Los costos *insitu* de la granja son aquellos de tratamiento necesarios para cumplir con los parámetros especificados por la LFDMA/NOM. Éstos van a ser diferentes para cada granja, pero en general se componen por los costos del sistema de tratamiento (equipo e instalaciones) y los costos de operación y mantenimiento durante el tiempo de vida del sistema, más las cuotas de descarga que deberán de pagarse en el caso de que algún parámetro de la LFDMA/NOM sea excedido. Los beneficios *insitu* son aquellos que se obtienen del valor de los subproductos como la cerdaza, el metano y el fertilizante orgánico. Incluso se deben tener en cuenta las reducciones en enfermedades y muertes animales asociables a los contaminantes del agua como beneficios extra. El objetivo del porcicultor es entonces minimizar los costos netos teniendo en cuenta el cumplimiento de la LFDMA/NOM. Dado que estos costos y beneficios ocurren en diferentes tiempos, es necesario aplicar una tasa de descuento apropiada y calcularlos como valor actual neto (VAN).

Además de la evaluación *insitu* descrita, también existen los beneficios *exsitu*, los cuales pueden considerarse en la contabilidad general de

los sistemas de tratamiento. Entre los beneficios, el anteproyecto de norma¹¹ define los mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Beneficios ex situ del tratamiento de las aguas residuales porcícolas

Ahorro en los costos de potabilización.
Preservación de la vida acuática en los cuerpos receptores.
Desarrollo de actividades productivas y creación de empleos directos y/o indirectos (por ejemplo compra-venta y aplicación de abono de cerdo).
Disminución de riesgo potencial de enfermedades gastro-intestinales.
Competitividad en los precios de los productos porcinos cuando los productos de cerdo logran mayor aceptación por su producción ecológicamente limpia.
Aumento en el uso del agua tratada.

Fuente: Anteproyecto de la norma; Instituto de Ecología, Semarnap, 1995, p. 227.

Cabe resaltar que el porcicultor sólo tomará en cuenta los costos y beneficios *insitu*. Es por ello que el análisis de costos netos de tratamiento que se presenta a continuación, es un análisis financiero, realizado desde la perspectiva del porcicultor, concentrándose exclusivamente en los costos de instalación, operación y mantenimiento, y en los beneficios obtenidos del valor de los subproductos. Por su lado, la valuación de los beneficios económicos sociales debidos a la mejora en la calidad ambiental generada por el tratamiento de aguas residuales es importante, pero va más allá del enfoque de este artículo.

OPCIONES DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO

El porcicultor tiene, en principio, una amplia gama de elecciones respecto a los sistemas y sus componentes. Hasta cierto punto, cada granja tiene sus condiciones particulares, las cuales determinarán el sistema más

apropiado. En general, un sistema de tratamiento requerirá un cárcamo o fosa séptica para depositar y almacenar las aguas residuales y asegurar su flujo constante hacia los restantes componentes del sistema. Además, se recomienda un separador manual o mecánico para aislar cuantos sólidos sea posible. Después de eso, el agua sobrante pudiera requerir más tratamiento en una laguna anaeróbica o un biodigestor. El riego de campos agrícolas con las aguas residuales tratadas es también un componente final importante para muchos sistemas de tratamiento.

En este estudio, consideramos cuatro tipos de tratamientos (véase tabla 3).

El primero, referido como sistema 1, es un sistema de filtro lento particularmente adecuado para granjas pequeñas, dado el reducido volumen de aguas residuales generadas, esto es, menos de 30m³ diarios totales; es de bajo costo y ha sido diseñado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán; incluye un cárcamo, la separación manual de los sólidos y un filtro lento. El tamaño de éste último limita la aplicabilidad del sistema en granjas mayores.

Un segundo tipo, sistema 2, es el reactor anaeróbico con filtro *idem*, el cual puede emplearse en granjas de mayor tamaño. Cuenta con un cárcamo, dos separadores mecánicos (cada uno de ellos con una malla de tamaño diferente), un homogenizador para asegurar una mezcla uniforme de las aguas residuales, un reactor y un filtro anaeróbico. Los tamaños de los separadores, el homogenizador, el reactor y el filtro quedan determinados por el volumen de las aguas residuales generadas diariamente. Estos tres últimos componentes tienen dimensiones máximas de 300, 600 y 200m³, respectivamente, más allá de lo cual se deben construir módulos separados.

El sistema 3, es parecido al 2 pero incluye una zanja de oxidación y un sedimentador en lugar del filtro anaeróbico. Este sistema está diseñado para reducir los contaminantes potenciales a niveles cercanos a los especificados en la LFDMA/NOM para cuerpo receptor C, asumiendo que el potencial para regar las aguas tratadas es limitado. Es por esto que este sistema es especialmente apropiado para casos en los que existe poco terreno disponible, sin embargo, es también más caro que el 2.

El sistema 4 incluye una laguna anaeróbica de acuerdo con las especificaciones de PigMex.^b Incluye un cárcamo y un separador mecánico, además de la laguna anaeróbica.

Cada uno de estos cuatro sistemas, cuando se usan en conjunto con el riego de terreno agrícola, cumplen con los parámetros básicos de la LFDMA/NOM, es decir, demanda bioquímica de oxígeno 5, sólidos suspendidos totales y nitrógeno total (véase tabla 1, columna "cuerpo receptor tipo A, suelo con uso en riego agrícola"). El resto de los parámetros (grasas y aceites, metales pesados y cianuros) no son relevantes, ya que por lo general no se encuentran, o aparecen en cantidades mínimas, en las aguas residuales porcícolas. Sin embargo, cada sistema resulta en diferentes calidades de agua, lo cual también depende del tamaño de la granja y del mayor o menor uso del líquido para el lavado de corrales en la granja; así, se podría esperar una mayor concentración de contaminantes en las aguas residuales de las granjas más grandes, ya que éstas son más eficientes en el uso de agua. De ahí que el sistema de tratamiento elegido pueda conducir a diferentes concentraciones en los efluentes según el tamaño de la granja y el uso del agua, por lo que los parámetros de calidad que se obtienen después del tratamiento pueden variar dentro de los rangos que se presentan en la parte de "parámetros de calidad" de la siguiente tabla.

Tabla 3. *Calidad del agua residual bajo diferentes opciones de tratamiento y en relación con la LFDMA/NOM*

LFDMA/ Norma	Sin Trata- miento	Sistema 1 (Filtro Lento)	Sistema 2 (Reactor)	Sistema 3 (Reactor <i>Plus</i>)	Sistema 4 (Laguna)
	Cárcamo	Cárcamo	Cárcamo	Cárcamo	Cárcamo
	Separación Manual	Separador	Separador	Separador	Separ- dor

^b PigMex es un programa de cómputo elaborado por el Ing. E. Taiganides en colaboración con el Consejo Mexicano de Porcicultura, para el cálculo de las dimensiones y costos de un sistema de tratamiento de laguna.

Tabla 3. *Continuación*

		Filtro Lento	Separador	Separador	Laguna Anaerobia	
			Homogenizador	Homogenizador		
			Reactor Anaerobio	Reactor Anaerobio		
			Filtro Anaerobio	Zanja de Oxidación		
				Sedimentador		
Parámetros de Calidad (mg/l)						
DBO	30 – 150	6,293 – 13,990	100	100	20	344-445
SST	40 – 150	15,106 – 33,581	50	50	40	373-483
NKT	15 - 40	1,260 – 2,801	<755	724-896	7-9	667-862

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno; SST: Sólidos Suspensidos Totales; NKT: Nitrógeno Kjeldahl Total

Fuente: LFDMA; PigMex; Encuesta propia.

Como puede observarse en la tabla 3, los sistemas 1, 2 y 4 reducen el nitrógeno Kjeldahl total (NKT) a aproximadamente 670-900 mg. Los sistemas 1 y 2 también reducen DBO y SST a 100 y 50 mg/l, respectivamente, mientras que el 4 los reduce solamente a un rango de entre 340 y 480 mg/l. El sistema 3 es el más efectivo para reducir las concentraciones del efluente.

COSTOS BRUTOS DEL TRATAMIENTO

Y ¿qué tan caros son los sistemas anteriores? Como se hizo notar con anterioridad, los costos se componen del equipo e instalación iniciales más la operación y mantenimiento anual. Estos dos últimos se han estimado en 20% del costo inicial total para los sistemas 1, 2 y 3.

La tabla 4 revela los costos iniciales y el valor actual, para diferentes tamaños de granja, para una vida útil del sistema de 15 años, aplicando una tasa de descuento de 10% para reflejar su valor actual. La operación y el mantenimiento para el sistema 4 se establecen conforme a los datos de PigMex y son determinados en general por la frecuencia de vaciado de la laguna.

Tabla 4. *Costo de los sistemas de tratamiento*

UPA	Costo inicial				Valor Actual de los Costos			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<650	5 314				14 206			
1 500		25 350	49 074	159 974		67 768	131 191	66 960
2 000		27 490	52 692	165 843		73 490	140 864	71 673
4 000		37 396	69 474	197 649		99 973	185 727	86 865
6 000		45 098	82 547	220 285		120 562	220 676	104 214
10 000		57 688	104 827	255 717		154 221	280 238	131 297
20 000		108 657	194 870	362 267		290 476	520 954	189 780
30 000		151 285	268 925	463 914		404 437	718 927	262 436

Nota: Las UPA indican el tamaño de la granja. Una UPA (Unidad de Peso Animal) equivale a 100 kg.

Fuente: Encuesta propia.

Nótese cómo a pesar de que los costos iniciales de inversión son claramente más altos para el sistema 4 que para el 2 y 3, el valor actual es marcadamente menor (relativamente) debido a los menores costos de mantenimiento. Esto es un buen ejemplo de la necesidad de tomar decisiones con base en criterios de valor actual, y no sólo con base en los costos iniciales de la inversión lo cual llevaría a apreciaciones incorrectas.

Antes de llegar a una conclusión respecto de lo deseable o indeseable de un sistema sobre otro, es importante hacer notar que los anteriores son sólo costos brutos y que aún se requiere tomar en cuenta las contribuciones de los subproductos, los cuales pueden ser altos, particularmente en los sistemas 2 y 3, como se verá más adelante.

LOS SUBPRODUCTOS ASOCIADOS CON EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El proceso de tratamiento de aguas residuales porcícolas resulta en la transformación de contaminantes potenciales (por ejemplo, nitrógeno, fósforo, sólidos) en subproductos que tienen un valor económico potencial. Los subproductos principales son:

- la cerdaza, que se compone de los sólidos obtenidos durante el proceso de separación; es de gran valor alimenticio para otras especies ya que los cerdos no digieren del 20 al 30% del contenido proteínico del alimento balanceado estándar que consumen;
- el fertilizante, el cual se aplica a través de la irrigación del efluente tratado sobre un pastizal (u otro cultivo), resultando en mayor productividad; y
- el gas metano, que es producido a partir del reactor anaeróbico y que puede utilizarse para mover motores y producir electricidad o calor, o hasta como combustible para automóviles.

La tabla 5 presenta un resumen del valor de los subproductos para cada sistema de tratamiento, con base en su valor de mercado. Cabe hacer notar que los sistemas 1 y 4 no producen metano, ya que no cuentan con reactor anaeróbico (aunque se pudiera adicionar uno si se deseara), y para el sistema 3 el valor del subproducto fertilizante se reduce considerablemente, ya que un gran porcentaje del contenido de nitrógeno se remueve durante el tratamiento del agua residual.

LOS COSTOS NETOS DE TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS PORCÍCOLAS

Al combinar el valor actual de los costos de tratamiento con los beneficios obtenidos por el valor de los subproductos, obtenemos el Valor Actual Neto (VAN) que se presenta en la tabla 6, para diferentes tamaños de granja. Los números positivos representan una ganancia, mientras que los negativos un costo.

Se pueden obtener grandes ganancias económicas excepto para las granjas de entre 1 500 y 4 000 UPA (Unidades de Peso Animal de 100

kg.) que utilicen el sistema 3. Esto se debe a que este sistema está diseñado para un uso mínimo de terreno, por lo cual se reduce una gran parte de los beneficios (específicamente fertilizante) generados por el valor de los subproductos; por ello los sistemas 2 y 4 serían más atractivos. Estos dos últimos sistemas tienen un VAN positivo para cualquier tamaño de granja.

Tabla 5. Valor anual (dólares) por unidad animal (UPA) de los subproductos de los sistemas de tratamiento

	Sistema 1 (Filtro Lento)	Sistema 2 (Reactor)	Sistema 3 (Reactor Plus)	Sistema 4 (Laguna)
Cerdaza [#]	2.5	4.0	4.0	2.5
Metano ^{##}	-	0.74	0.74	-
Pasto Tai-wán* ^{###}	12.8	6.3-9.9	0.06-0.09	5.4-9.5
Total (dólares) por UPA	15.3	11.04-14.64	4.8-4.83	7.9-12

* El pasto Taiwán se obtiene del riego de aguas residuales tratadas (fertilizantes)

Supuestos:

- [#]Eficiencia de separación: 40%; 0.44 kg/día de sólidos totales por UPA (sistemas 2 y 3) y 0.27 kg/día (sistemas 1 y 4); precio de la cerdaza = 25 dólares/tonelada
- ^{##}Por cada kg de demanda bioquímica oxígeno (DBO) consumido por el reactor se producen 0.3 m³ de metano; el reactor consume 0.11 kg/día/UPA de DBO; precio del metano = 0.064 dólares/ m³
- ^{###}1 200kg/ha de nitrógeno en forma amoniacal resulta en un aumento de productividad de 95 ton/ha. Se toman en cuenta los costos de operación y mantenimiento del sistema de irrigación y el establecimiento de la pastura. Precio pasto Taiwán = 25.60 dólares / tonelada

Fuente: Encuesta propia.

Tabla 6. *Valor Actual Neto por sistema de tratamiento
(dólares)*

UPA	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
650	58 059			
1 500		107 194	-73 058	75 516
2 000		160 406	-62 739	118 908
4 000		256 035	-28 166	178 642
6 000		414 370	16 585	294 967
10 000		738 560	115 285	557 352
20 000		1 496 927	271 933	1 189 360
30 000		2 277 589	471 324	1 807 195

Nota: Las UPA indican el tamaño de la granja.

Una UPA (Unidad de Peso Animal) equivale a 100 kg.

Fuente: Encuesta propia.

FACTORES QUE IMPIDEN EL APROVECHAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS EN LA PRÁCTICA

Hasta ahora hemos visto cómo el valor de los subproductos generados por los sistemas de tratamiento es significativo y (sin tomar en cuenta a las granjas de entre 1 500 y 4 000 UPA que utilicen el sistema 3) puede ser lo suficientemente grande como para sugerir que un sistema de tratamiento sea, por sí mismo, conveniente de instalar debido a las ganancias que genera.

Si en verdad éste es el caso, vale la pena preguntarse ¿por qué, independientemente de la nueva legislación en la materia, los sistemas de tratamiento no han sido adoptados aun cuando pueden redituar ganancias?

Para contestar esta interrogatoria, se exploran a continuación cuatro hipótesis.

- *Hipótesis 1:*
- Los costos iniciales de inversión son altos, y su recuperación mediante los subproductos se da gradualmente, a través de muchos años. Esto podría sugerir que, a pesar de que la instalación de un sistema de tratamiento representa ganancias por los beneficios obtenidos y el valor de los subproductos generados, la alta inversión inicial requerida y la naturaleza de largo plazo de los beneficios, tienden a reducir el atractivo de dicha inversión.
- *Hipótesis 2:*
- Algunas de las posibles ganancias derivadas de los sistemas de tratamiento ya se están dando sin requerir una instalación completa. Esto pudiera sugerir que el valor actual neto de los sistemas de tratamiento establecido en la tabla 6, sobreestima el valor de los beneficios que se podrían obtener en relación con la situación real.
- *Hipótesis 3:*
- El valor total de los subproductos no está siendo fácilmente obtenido por la granja y, por tanto, depende de la reorganización del sistema de producción y de desarrollar mercados para los subproductos. Esto pudiera sugerir que el valor potencial de los subproductos no es capturado fácilmente por los porcicultores, por lo que los valores presentados en la tabla 6 estarían nuevamente sobreestimando los beneficios que pudieran obtenerse en la realidad.
- *Hipótesis 4:*
- A pesar de la aparente reditabilidad de los sistemas de tratamiento, una información imperfecta respecto a éstos y al uso de los subproductos significa que los porcicultores no pueden optimizar los retornos posibles que predice la teoría económica.

Cada una de estas hipótesis se analiza a continuación.

Hipótesis 1. Ésta sugiere que ya sea por los altos costos iniciales de inversión asociados con la instalación de un sistema de tratamiento, o por el largo período en el que se capturan las ganancias resultantes del valor de los subproductos, se tiende a reducir el atractivo de la inversión.

Para analizar esta hipótesis se considera al costo de inversión inicial como un porcentaje del total anual de los costos variables, y como fun-

ción del número de años que transcurran para que el valor de los subproductos cubra la inversión inicial.

Al observar de nuevo la tabla 4, nos percatamos de que en términos absolutos, el costo inicial de un sistema de tratamiento puede constar de decenas o aun cientos de miles de dólares (a excepción del sistema 1) dependiendo del tamaño de la granja. Así, los costos iniciales por UPA pueden variar en un rango muy amplio de entre 5 y 106.6 dólares. Este amplio rango se explica, en parte, debido a la existencia de economías de escala.

Tabla 7. Costos de tratamiento como porcentaje de los costos totales (dólares)

Tamaño de la Granja	Pequeña	Mediana	Grande	Mega
Núm. de UPA	198	1 329	3 920	20 556
Utilidad Neta por año	40 775	1 014 274	1 330 702	1 545 335
Costo Total de Producción por año	56 689	565 086	789 166	3 795 443
Costo Total de Producción/UPA	286	425	201	185
Sistema de Tratamiento	Sistema 1	Sistema 3	Sistema 3	Sistema 3
Costo de Inversión Inicial	5 314	47 768	68 929	197 748
Costo Inversión Inicial/UPA	27	36	18	10
Valor Actual de los Costos de Tratamiento (durante 15 años, 10% tasa de descuento)	14 206	127 701	184 270	528 647
Valor Actual de los Costos Anualizado	1 651	14 838	21 412	61 427
Valor Actual de los Costos de Tratamiento Anualizado/Costo Total de Producción	2.91%	2.63%	2.71%	1.62%
Costo de Inversión Inicial/Costo de Alimentos	11.1%	9.1%	8.9%	6.1%

Fuente: Encuesta propia en colaboración con el Depto. de Economía Pecuaria, FMVZ-UADY.

Como se advierte en la tabla 7, la cual se basa en la encuesta económica de este proyecto a 7 granjas durante 6 meses, el valor actual de los costos de tratamiento equivale sólo a un pequeño porcentaje de los costos totales de producción (1.62 a 2.91%), aun tomando en consideración los costos del sistema más caro, que es el sistema 3; y al comparar los costos totales de inversión inicial con los gastos anuales en alimento animal (el cual normalmente representa más de 80% de los costos de la granja), se encuentra que la inversión representa sólo entre 6.1 y 11.1%. Estas cifras tal vez no sólo sean una subestimación de los verdaderos costos de producción, ya que se ignoran los costos fijos (lo cual haría la proporción aún menor), también pasan por alto en buena medida los beneficios potenciales de los subproductos. De ahí que, desde este punto de vista, es un tanto improbable que la magnitud de los costos totales de inversión inicial representen una barrera en el cumplimiento de las normas para los porcicultores.

De manera alternativa, el largo periodo de repago pudiera influir en las decisiones de inversión. Al reexaminar la información de la tabla 5, podemos determinar el número de años que tienen que transcurrir para que los beneficios obtenidos por el valor de los subproductos cubran los costos iniciales. Aun al reconocer que un "periodo mínimo de repago" no es un indicador adecuado en el análisis costo-beneficio (ya que, bajo ciertas circunstancias, actividades con menor retorno y menor periodo de repago aparecerán más atractivas que actividades con mayor retorno y mayor periodo de repago, llevando a la toma errónea de decisiones en el análisis costo-beneficio), éste pudiera ser visto como un importante criterio desde el punto de vista de los porcicultores.

Como se observa en la tabla 8, los sistemas 1 y 2 pagan sus costos en uno o dos años (de hecho, en el caso del sistema 2, las granjas mayores a 4 000 UPA cubrirán sus costos dentro del primer año). El periodo mínimo de repago para el sistema 4 es de entre 2 y 5 años, caso para el cual las granjas grandes y mega requieren de entre 2 y 3 años. En contraste, las granjas megas que instalen el sistema 3, necesitarán de entre 4 y 5 años para cubrir sus costos, mientras que las granjas de 6 000 UPA necesitarán un periodo de 11 años. Granjas menores a este tamaño utilizando el sis-

tema 3 nunca podrán operar sus sistemas de tratamiento obteniendo ganancias.

Tabla 8. Valor Actual Neto (dólares) por sistema de tratamiento y periodo de repago (años)

Tamaño de Granja (UPA)	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
	dólares	periodo de repago						
650	58 059	2						
1 500			107 194	2	-73 058	na	75 516	5
2 000			160 406	2	-62 739	na	118 908	4
4 000			256 035	2	-28 166	na	178 642	4
6 000			414 370	1	16 585	11	294 967	3
10 000			738 560	1	115 285	5	557 352	2
20 000			1 496 927	1	271 933	5	1 189 360	2
30 000			2 277 589	1	471 324	4	1 807 195	2

na: no aplicable

Fuente: Encuesta propia.

Es así que pudiera parecer que, excepto para el sistema 3 y para granjas menores a 6 000 UPA utilizando el sistema 4, el periodo mínimo de repago es bastante bajo (entre 1 y 2 años).

De esta manera podemos concluir en relación con la hipótesis 1, que ni el costo inicial de inversión de un sistema de tratamiento (expresado como un porcentaje de los costos totales (variables) de producción), ni el periodo mínimo de repago, parecen ser lo suficientemente importantes como para impedir que el porcicultor invierta en un sistema de tratamiento que reditúe en ganancias.

Hipótesis 2. Ésta sugiere que el valor actual neto de los sistemas de tratamiento establecidos en la tabla 6, sobreestima los beneficios que pudieran obtenerse en comparación con la realidad, ya que parte del valor

de los subproductos se captura aun cuando no haya una instalación completa de un sistema de tratamiento. Para el análisis de esta hipótesis, necesitamos considerar el valor de cada subproducto como una proporción del valor total de los subproductos, el porcentaje de los costos de tratamiento asociados con cada etapa del tratamiento (por ejemplo, cárcamo, separador, homogenizador, reactor y filtro o zanja de oxidación y sedimentador) y su relación con el subproducto. También es necesario considerar la práctica actual de las granjas con relación al riego de pastizales con las aguas residuales.

En la tabla 5 hemos visto que, con excepción del sistema 3 (el cual está diseñado para requerir una muy pequeña extensión de terreno para irrigación, y por tanto baja producción de pasto), un gran porcentaje del valor total de los subproductos es atribuible al uso del agua residual como fertilizante en el riego de pastizales (aproximadamente entre 57 y 84%). Sin embargo, ya que el agua residual porcícola sin tratamiento se utiliza como fertilizante en muchas de las granjas, parece justo asumir que un gran porcentaje del valor de este subproducto ya está siendo capturado, aun en la ausencia de un sistema de tratamiento adecuado. A pesar de que el riego con aguas residuales no tratadas (de manera opuesta al riego con aguas tratadas) es muy probable de tener un impacto significativo en la calidad ambiental, la decisión del porcicultor de regar con aguas no tratadas tiene sentido desde el punto de vista económico privado. El incentivo o requerimiento para el tratamiento de aguas establecido por la LFDMA/NOM, es importante en este contexto, ya que los parámetros y exención de las cuotas por descarga para el riego agrícola, aplican sólo para aguas residuales 'tratadas' y aplicadas en una lámina de riego no demasiado grande.

Sin embargo, si aceptamos que el valor del subproducto pastos ya es capturado por muchos porcicultores *antes* de la instalación de un adecuado sistema de tratamiento, el VAN del sistema de tratamiento, expresado en la tabla 6, se reduce significativamente como se advierte en la tabla 9. Al comparar los dos (bajo el supuesto de que 100% del valor del riego está siendo capturado), podemos ver que (con excepción del sistema 3) los retornos son significativamente menores y el periodo mínimo de repago significativamente más alto. Sin embargo, el VAN para el sis-

tema 1 es apenas negativo, mientras que el periodo de repago para las granjas mayores a 4 000 UPA utilizando el sistema 2 es todavía relativamente corto, es decir, de entre 2 y 3 años.

Tabla 9. Valor Actual Neto sin el subproducto de riego por sistema de tratamiento y periodo de repago (dólares)

Tama- ño de Granja (UPA)	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
	dólares	periodo de repago	dólares	periodo de repago	dólares	periodo de repago	dólares	periodo de repago
650	-661	na						
1 500			-8 442	na	-71 685	na	-35 703	na
2 000			5 612	11	-61 762	na	-29 997	na
4 000			58 231	4	-27 523	na	-3 512	na
6 000			116 744	3	16 629	11	20 815	11
10 000			241 288	2	115 271	5	77 085	7
20 000			500 540	2	270 063	5	226 984	5
30 000			782 088	2	467 598	4	362 710	5

na: no aplicable

Fuente: Encuesta propia.

Un análisis similar se puede hacer con respecto a la cerdaza y el metano. Sin embargo, la producción de estos subproductos, al contrario del riego, generalmente presupone una inversión bastante alta en un sistema de tratamiento. Por ello hay muy pocas granjas que tienen la posibilidad de aprovechar de estos productos sin instalar un sistema de tratamiento adecuado.

En conclusión, aun cuando parte del valor de los subproductos ya es capturado, lo cual tiende a reducir el margen de retorno de los sistemas de tratamiento establecido en la tabla 6 y a elevar el periodo mínimo de repago, esto no es suficiente para eliminar el atractivo económico

de instalar un sistema de tratamiento en la mayoría de los tamaños de granja.

Hipótesis 3. Ésta plantea que el valor potencial de los subproductos no se puede capturar fácilmente, por lo que los valores de la tabla 6 nuevamente sobreestiman los beneficios que se pueden obtener en la práctica. Como se hace notar previamente, el valor de los subproductos se basa en su valor de mercado, así para el caso de la cerdaza y los pastos se toma el valor del alimento para ganado, y para el caso del gas metano se usa el valor comercial del gas. Sin embargo, la habilidad del porcicultor para capturar estos valores en la práctica, requiere de la existencia de un mercado accesible para dichos productos (una condición que no siempre se cumple para las granjas más aisladas) y de bajos costos de transporte por unidad (una condición que no siempre se cumple para granjas pequeñas), o de la habilidad de la granja para hacer uso de los subproductos de manera *insitu*.

Con relación a esto último, las tablas 10 y 11 muestran las estimaciones referentes a la cantidad de terreno necesario para regar de manera ambientalmente segura el agua residual, así como el ganado (número de cabezas) necesario para consumir la cantidad de cerdaza producida. Así, en la mayoría de las granjas tendrá dificultad para cumplir en la actualidad con estos requerimientos, por lo que se deberán buscar medios para vender los subproductos generados u obtener acceso a más terreno.

Tabla 10. *Cerdaza producida y bovinos necesarios para consumirla*

Tamaño de la Granja (UPA)	Kilos de cerdaza por Día	Número de bovinos	Rango actual de Núm. de bovinos
650	177	56	0-40
1500	655	208	0
2000	873	277	0
4000	1 747	555	0-200
6000	2 620	832	0-200
10000	4 367	1 386	150-180
20000	8 734	2 773	150-180

30000	13 101	4 159	150-180
-------	--------	-------	---------

Supuestos: Bovino de 250 kg que come diariamente 2.8% de su peso vivo, basado en un dieta de 45% de cerdaza, 25% de pasto Taiwán y 30% de melaza.

Fuente: Encuesta propia

Tabla 11. *Hectáreas necesarias para un riego ambientalmente sano del agua residual total*

UPA	Sistemas 1 y 2	Sistema 3	Rango Actual de núm. de Hectáreas Utilizadas (disponi- bles)*
650	3.4		0-2 (1-2)
1 500	6	0.5	0-1 (0-51)
2 000	8	0.6	0-1 (0-51)
4 000	10	1.5	0-30 (1.5-30)
6 000	16	2.2	0-30 (1.5-30)
10 000	26	3.4	0 (40)
20 000	52	6.7	0 (40)
30 000	78	10.1	0 (40)

Premisa: no aplicar más de 1 200 kg/ha de nitrógeno al año, ni más de 75m³/ha de agua residual al día. Nótese que la superficie queda determinada por la cantidad de nitrógeno en los sistemas 1, 2 y 4 mientras que para el sistema 3 queda determinada por la cantidad de Agua Residual Total que deba ser aplicada. Cuando no se puedan satisfacer esos requerimientos mínimos de tierra, será necesario un sistema de reciclamiento de Agua Residual.

*La información en paréntesis se relaciona con la tierra disponible, pero no con la actualmente utilizada para irrigación.

Fuente: Encuesta propia.

La capacidad que se tenga para la irrigación del agua residual es un determinante crítico de los costos de tratamiento. De acuerdo con la LFDMA/NOM, en el caso en que no se pueda aplicar dicha irrigación debido a la falta de terreno, se aplicarán parámetros de calidad de agua más

estrictos y se tendrán que pagar derechos de descarga. Una alternativa sería la transportación del agua residual a otro lugar, aunque los costos de esta operación pudieran llegar a ser prohibitivos, excepto para un número pequeño de casos específicos. A través de entrevistas realizadas con empresas operadoras de camiones pipa, estimamos que el costo por litro por remover el agua residual y aplicarla en un terreno cercano sería de aproximadamente 0.03 pesos. Para una granja pequeña (que genere 30 m³ por día de agua residual) esto implicaría un gasto aproximado de 42 000 dólares anuales. Claramente se puede concluir que ésta no es una opción costo-efectiva, ya que los precios promedio de terreno son de aproximadamente 2 500 dólares/hectárea (bajo el supuesto de que se pueda comprar o rentar tierra agrícola contigua a la granja). Consecuentemente, los productores tendrán un incentivo para aplicar todas sus aguas residuales tratadas en el terreno que tengan disponible.

Desde el punto de vista medio ambiental, dichas descargas necesitan ser suficientemente controladas, para asegurar que la lixiviación de los nutrientes hacia el acuífero no esté tomando lugar. Esto significa que se tienen que definir estándares mínimos de seguridad y restricciones en las cargas de nitrógeno y otros contaminantes potenciales críticos, así como en la cantidad de agua residual total (ART), aplicados por hectárea. Así, esto hará necesario que los productores de cerdo ajusten sus sistemas de producción de tal forma que incorporen mayor terreno y ganado o negocien acceso a terrenos cercanos.

Con la premisa de que el terreno disponible es una restricción, dada la definición de un estándar mínimo de seguridad (EMS) y puesto que se asume que el EMS debe de alcanzarse (es decir, no se pueden pagar derechos de descarga en lugar de realizar tratamiento), el sistema 3 es el único que sería viable para cualquier tamaño de granja, incluyendo las pequeñas. Como resultado (véase tabla 12), el valor actual neto de tratamiento para cualquier tamaño de granja es significativamente menor que bajo la opción de los sistemas 2 o 4; aunque las granjas mayores a 6 000 UPA todavía serán capaces de extraer ganancias a partir de su sistema de tratamiento, por las crecientes economías de escala y el alto valor de los subproductos.

Así, podemos concluir que la cantidad de terreno necesario será mayor a aquella normalmente disponible en las granjas, para cumplir la condición basada en un EMS de nitrógeno por hectárea. Sin embargo, la opción de invertir en un sistema de tratamiento más eficiente (el sistema 3, por ejemplo) tiende a elevar los costos significativamente. Una mejor alternativa, es comprar o rentar más terreno, o negociar acuerdos que permitan la irrigación de terrenos de otros productores con las aguas residuales, para que las granjas porcícolas puedan integrar (directa o indirectamente) en su proceso de producción a un gran número de cabezas de ganado que consuman la cerdaza y pasto producidos.

Tabla 12. Valor Actual Neto (dólares) por sistema de tratamiento bajo un Estándar Mínimo de Seguridad (EMS)

UPA	Sistema 3
650	-102 000
1 500	-73 058
2 000	-62 739
4 000	-28 166
6 000	16 585
10 000	115 285
20 000	271 933
30 000	471 324

Fuente: Encuesta propia.

Hipótesis 4. Ésta propone que el conocimiento de los porcicultores con relación a los costos de los sistemas de tratamiento y al valor de los subproductos es imperfecto, por lo que limita su habilidad para tomar decisiones económicamente racionales vinculadas con la instalación y elección de un sistema de tratamiento. Los resultados obtenidos a través de la encuesta, sugieren que esto podría ser un factor importante para explicar la falta de tratamiento aun cuando existe el potencial de obtener retornos positivos. Los porcicultores son generalmente capaces de pro-

veer información detallada y precisa referente al número de animales en su granja, su edad y cantidad de alimento consumido, los costos de este alimento, los precios de la carne, etcétera. Por otro lado, los factores importantes desde el punto de vista de la instalación de un sistema de tratamiento (por ejemplo, cantidad de agua utilizada, concentración del efluente, cantidades y valor de los subproductos potenciales, tipos de sistemas de tratamiento y sus costos) no son tan bien conocidos.

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LAS POLÍTICAS

Así, hemos explorado los probables costos de tratamiento que serán enfrentados por los porcicultores, dado que la LFDMA/NOM provee exenciones en parámetros y cuotas por descarga para aguas residuales que hayan sido adecuadamente tratadas y sean utilizadas para "riego agrícola".

Fue financiero el enfoque adoptado en este artículo, tomando en cuenta sólo el punto de vista privado (es decir, costos y beneficios *insitu*, para el porcicultor). Es por ello que aun cuando los retornos *insitu* al tratamiento sean negativos, la sociedad como un todo es probable se beneficie con la mejora en la calidad ambiental resultante, por lo que es todavía justificable la aplicación de los sistemas de tratamiento en términos económicos.

Sin embargo, la importancia económica (financiera) del valor de los subproductos asociados, principalmente cerdaza, metano y fertilizante para pastizales, sugiere que este valor posiblemente será capaz de pagar la inversión inicial del sistema de tratamiento.

Esto tiene importantes implicaciones tanto para los productores como para el desarrollo de políticas regulatorias. Para los productores, el alto valor potencial de los subproductos afecta sus estrategias de tratamiento, ya que la elección de un sistema de tratamiento apropiado puede permitir la maximización de las cantidades de subproductos generados. Además, la captura del valor potencial de los subproductos depende en gran parte de la posibilidad de realizar el riego agrícola y promover cambios en el sistema de producción para integrar un número de hectáreas de terreno y ganado suficientes. El hecho que el uso de la cerdaza y el riego se transformará en un importante componente de la estrategia de trata-

miento de los productores porcícolas, también sugiere que el desarrollo de políticas regulatorias debiera tomar esto en cuenta, especialmente en términos de asegurar que se realice un riego agrícola ambientalmente sano.

Habiendo analizado una serie de impedimentos potenciales para la captura de dichos valores en la práctica, concluimos que ni los costos de inversión iniciales, ni el periodo de repago, son probables de significar un impedimento en la decisión de invertir en un sistema de tratamiento, como se requiere por la LFDMA/NOM. Tampoco el hecho de que parte del valor de los subproductos sea capturado aun sin la instalación de un sistema de tratamiento adecuado, elimina las ganancias económicas potenciales de un sistema de tratamiento.

Sin embargo, el potencial para capturar el valor total de los subproductos, depende sustancialmente de la habilidad del porcicultor de vender estos subproductos a precios de mercado, o de hacer uso de ellos de manera interna. Mientras que algunas granjas tienen acceso a dichos mercados y ya están vendiendo parte de sus subproductos, muchas otras pudieran no estar en tan buena situación. La habilidad de estas últimas para capturar el valor de sus subproductos, dependerá entonces de la obtención de acceso a terrenos suficientemente grandes para regar sus residuos líquidos, y poseer un número suficiente de cabezas de ganado que consuman la cerdaza y pastos (forraje) resultantes del riego.

Mientras que la cantidad exacta de terreno necesario por metro cúbico de agua residual porcícola (o por UPA) no está claramente especificada en la LFDMA/NOM, un estimador aproximado de la cantidad de terreno necesario para cumplir la condición basada en un estándar mínimo de seguridad de nitrógeno por hectárea, sugiere que la cantidad de terreno necesario será mayor a aquella normalmente disponible en las granjas.

En este caso, una opción es invertir en un sistema de tratamiento más eficiente (el sistema 3, por ejemplo). Esto tiende a elevar los costos significativamente, aunque para granjas grandes los costos netos del sistema de tratamiento aun proveerán ganancias. De manera alternativa, se puede comprar o rentar más terreno, o negociar acuerdos que permitan la irrigación de terrenos de otros productores con las aguas residuales.

Finalmente, hemos notado que la falta de información de los porcicultores con relación a factores relevantes para el sistema de tratamiento, es importante para explicar la falta de instalación de sistemas aun cuando estos sistemas pueden ser rentables.

Para concluir, consideramos que las granjas porcícolas y sus asociaciones deberían:

- Promover el conocimiento, entre los porcicultores, de asuntos referentes a sistemas de tratamiento y a los factores de producción que deben ser tomados en cuenta para tomar decisiones racionales relacionadas con la instalación de tratamiento.
- Siendo que los subproductos del sistema de tratamiento son potencialmente valiosos, los productores deben buscar maneras de aprovechar su valor económico. Esto podría implicar tanto cambios en el sistema de producción para que se aprovechen mejor los subproductos de manera *insitu*, como el desarrollo de mercados para estos subproductos. Las asociaciones de porcicultores podrían apoyar este proceso. Esta reorganización del sistema de producción que permita el uso total del valor de los subproductos, también sugiere un cambio que nos aleja de las tendencias actuales hacia la especialización y creciente intensificación de la producción en granja, y nos acerca a una reintegración con otras actividades agropecuarias en la comunidad.
- Las asociaciones podrían apoyar en la compra de equipo de tratamiento (como está pasando actualmente en Yucatán) para lograr descuentos en compras al mayoreo, así como brindar ayuda para que los productores aprovechen los incentivos fiscales que existen para la compra de equipo de tratamiento.
- Las asociaciones también podrían apoyar un sistema de mercadeo que utilice etiquetas “verdes” para aumentar la toma de conciencia ambiental tanto de los productores como de los consumidores . Tal sistema opera ya en Minnesota con una etiqueta de “productor amigo del río”. En Yucatán podríamos tenerlas como “productor amigo del acuífero”.

- Para ser “amigo del acuífero” los productores deberían realizar análisis de sus suelos con distintos cultivos para asegurar que la cantidad de desechos regados en sus terrenos sean absorbidos por el cultivo, especialmente en la época de lluvias, y no ocasionar un daño ambiental.

Sin embargo, el que el riego pueda ser tanto ambientalmente viable como económicamente eficiente, depende de una serie de factores como los costos de manejo y aplicación de los residuos, la estimación del contenido de nutrientes en el agua residual, la determinación de la cantidad de fertilizante a aplicar, el balance de las múltiples aplicaciones de nitrógeno y fósforo sobre el terreno, la concentración de ganado, y la necesidad de almacenes para los subproductos.¹²

Aunque el potencial para el uso de los subproductos existe en nuestro país, hay que tomar en cuenta que el reciclaje de los residuos sólo puede lograrse hasta cierto punto, ya que hay evidencias en otros países de las limitantes que podrían presentarse en un futuro, las cuales podrían salvase siempre y cuando se cubra la necesidad de creación y reforzamiento de instituciones como mercados, agencias de regulación, y procesos de información.

Por ejemplo, podría presentarse el caso, como ha sucedido en Europa, de que la producción de estiércol como fertilizante es mucho mayor a la necesaria, por lo cual se sobreaplica fertilizante en los cultivos.¹³ Este mismo problema de sobreaplicación pudiera presentarse por la falta de una contabilización adecuada de los nutrientes derivados del estiércol, lo cual implica que se deben destinar los recursos adecuados para apoyar a los productores en sus esfuerzos por administrar los nutrientes de sus residuos.¹⁴

Asimismo, el valor del estiércol como fertilizante pudiera reducirse como consecuencia de la mayor disponibilidad y popularidad de fertilizantes comerciales. Este último caso se da por la falta de mercados de fertilizante animal organizados.¹⁵ Experiencias para superar problemas como éste incluye el establecimiento de “bancos de estiércol” como se ha dado en Holanda¹⁶ y los programas estadounidenses de préstamos para la

administración de los residuos animales que lleven a un mejor uso del agua residual como fertilizante.¹⁷

Por esto, tanto los productores como la agencia reguladora y la sociedad en general todavía tienen mucho por hacer para lograr que la producción porcícola se encamine hacia un camino de desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS:

Se agradece a las siguientes instituciones por el apoyo financiero al proyecto: Conacyt-Sisierra; Departamento de Desarrollo Internacional del Gobierno Británico; y Departamento 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, FMVZ-UADY; M. en C. Ely Rosales Puc, y Ing. Aldo Magaña Pietra, Facultad de Ingeniería– UADY; M. en C. Víctor Pech Martínez, M. en C. Manuel Rejón y Pedro Chimal FMVZ-UADY; M. en C. Rosario Pérez Espejo, Consejo Mexicano de Porcicultura/ UNAM; y Dr. Roberto Escalante Semerena, Facultad de Economía/ UNAM.

NOTAS

¹ INEGI; *Anuario Estadístico del estado de Yucatán*; 1996, p. 327.

² Gómez, V., A. Drucker, S. Magaña, y R. Escalante, “La industria porcina en Yucatán: un análisis de la generación de aguas residuales”, *Investigación Económica* (en prensa), 1998.

³ Vega, F. y H. L. Romero, “Daños y soluciones ecológicas a las granjas porcinas”, *Porcirama* 11(131), 1987, pp. 62-68.

⁴ Rodríguez, S., “Lineamientos para el tratamiento, descarga y reúso de aguas tratadas para granjas porcícolas”, *Porcirama* 13 (XIII), 1989, 151, pp. 18-29.

⁵ Vázquez, E. y G. Mejía, “Impacto ambiental de las granjas porcícolas en el estado de Yucatán”; *Gaceta Universitaria* 14, UADY, 1992.

⁶ Vázquez, E. y Zapata, A., “Calidad bacteriológica del agua de consumo del ... de sisal, Yucatán”; *Boletín Académica*, núm. 22, FI-UADY, 1993 pp. 41-51.

⁷ 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”, *Desarrollo Porcícola*, núm. 35, 1996, pp. 18-20.

-
- ⁵ Drucker, A., V. Gómez, y S. Magaña, “¿Se elaboran incentivos adecuados?: una evaluación de la legislación ambiental relevante a los desechos porcícolas en Yucatán, México”, Investigación Económica (en prensa), 1998.
- ⁶ Daly, Herman E., *Beyond Growth: the economics of sustainable development*, Beacon Press, Boston, 1996, pp. 27-28 y 49.
- ¹⁰ Comisión Nacional del Agua. *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, México, enero, 1998, pp. 89-112.
- ¹¹ Instituto de Ecología, *Anteproyecto de la Norma*, Semarnap, 1995, pp. 227.
- ¹² National Research Council, *Soil and water quality: an agenda for agriculture*, Committee on Long-Range Soil and Water Conservation, Board on Agriculture, Washington, D. C., National Academy Press, Chpt. 11, 1993, 516 p.
- ¹³ Neeteson, J. J., y W. P. Wadman, *Amonia volatization and nitrate leaching after animal manure application to agriculture crops*, Proceedings of the sixth international symposium on agriculture and food processing wastes, ASAEE, St. Joseph, Michigan, 1990, p.148.
- ¹⁴ Trachtenberg, E., y C. Ogg, *Agricultural pollution prevention: possibilities for a non-point source nutrient management initiative for manure*, US EPA, Washington D. C., 1994, p.15.
- ¹⁵ OCDE; *Water pollution by fertilizers and pesticides*, París, 1986, 144 p.
- ¹⁶ Dosi, C. and G. Stellin, *Influencing land use patterns to reduce nitrate pollution from fertilisers and animal manure: a case study*, Faculty of Agriculture, University of Padova, Italy, 1990.
- ¹⁷ Trachtenberg *et al.*, *ibid.*