

IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y AMBIENTALES
DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL APLICADA
AL TRATAMIENTO DE DESECHOS
EN LOS RASTROS YUCATECOS

VERÓNICA GÓMEZ GONZÁLEZ;^{*} ADAM G. DRUCKER;^{**}
ROBERTO ESCALANTE SEMERENA;^{***} OLGA RUBIO LEONEL;^{****}
ELSY ROSALES PUC;^{*****} VÍCTOR CANUL Y ALDO MAGAÑA;^{*****}

INTRODUCCIÓN

Este proyecto, de enfoque económico ambiental, se realiza con apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y de la Universi-

Manuscrito recibido, octubre de 1998; versión final, agosto de 1999.

Agradecemos los comentarios y sugerencias de los dictaminadores anónimos.

^{*} Departamento de Ecología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, (FMVZ-UADY), México. Apdo. 116-4 Itzimná, Mérida 97100, Yucatán. Tel. (99)42-32-06, fax (99)42-32-05, e-mail: vgomez@tunku.uady.mx

^{**} Departamento de Ecología, (FMVZ-UADY), México, y Departamento de Agricultura, Wye College, Universidad de Londres, Inglaterra, e-mail: adrucker@tunku.uady.mx

^{***} Unidad de Posgrado e Investigación, Facultad de Economía, UNAM

^{****} Departamento de Ecología, (FMVZ-UADY).

^{*****} Facultad de Ingeniería-UADY.

^{*****} Departamento de Ecología, (FMVZ-UADY). Ingeniero Ambiental, experto en el diseño de sistemas de tratamiento para aguas residuales.

dad Autónoma de Yucatán (UADY), y busca complementar los resultados del proyecto “Normatividad Ambiental, Producción Porcícola e Incentivos Económicos”¹ que identificó los principales factores relacionados con la producción porcícola yucateca, la contaminación del agua y los costos de cumplimiento de la nueva legislación, la NOM-001-ECOL.

Así, se espera conseguir una visión más completa de la disposición de los desechos animales a partir de un análisis completo de todas las etapas de producción y sacrificio animal en el estado de Yucatán, la cual se caracteriza por ser una región con creciente producción y sacrificio animal y muy vulnerable a la contaminación de su manto freático. Con este análisis también se espera aumentar la concientización con respecto a las obligaciones de los rastros relacionadas con la norma y analizar algunas de las opciones técnicas para su cumplimiento.

El proyecto se realizó durante el año de 1998, en 5 rastros durante 10 meses, analizando una serie de parámetros de la calidad de las aguas residuales y de los pozos de agua de abasto. También se identificó la cantidad de agua utilizada, el número de animales sacrificado, la infraestructura de tratamiento existente, los subproductos potenciales relacionados a esta infraestructura, y se modelaron algunas opciones técnicas de tratamiento y cumplimiento.

ANTECEDENTES

La Península de Yucatán es una de las regiones más vulnerables a la contaminación del agua subterránea, de la cual se abastece casi toda la población. Esta condición se explica por la estructura geológica fracturada y permeable del subsuelo, y la superficialidad del manto freático. Estas características naturales junto con el desecho de las aguas residuales generadas de manera indiscriminada, conllevan a una fuerte contaminación ambiental. Como estudios previos sobre el agua del subsuelo han

¹ En el No. 227 de *Investigación Económica* se publicó un artículo relacionado con las granjas porcícolas del Estado de Yucatán, bajo la autoría de Drucker *et. al.*, e intitulado “¿Contaminante o bien?: la importancia del valor de los subproductos en la determinación de estrategias y políticas para el tratamiento de los desechos animales”.

señalado, las descargas de aguas residuales animales son una de las principales fuentes de contaminación por materia orgánica en la región.

En la industria de la carne, el abastecimiento de agua potable, control y eliminación de aguas residuales son una condición que merece una atención particular. Tradicionalmente esta actividad ha sido responsabilidad de instituciones distintas de las responsables de la calidad sanitaria de la carne, facilitando así un vacío regulatorio.

Hasta recientemente las Normas Oficiales Mexicanas sobre el control de la calidad de las aguas, las cuales están encaminadas al cuidado del ambiente y que abarcan entre otras áreas a la pecuaria, eran poco específicas con relación a la calidad del agua potable y a la descarga de aguas residuales en los procesos de matanza de animales, en los que si bien se busca favorecer la calidad sanitaria de la carne, no se habían considerado los desechos finales que resultan de este proceso y que afectan al medio ambiente.

Es por ello que el desarrollo de la infraestructura agropecuaria, particularmente en el renglón de los rastros, no ha evolucionado de manera paralela con la demanda de la carne y sus derivados primarios.

Sin embargo, la entrada en vigor de la nueva Normatividad (NOM-001-ECOL) requiere que los rastros (como el resto de las industrias generadoras de aguas residuales) empiecen a tomar medidas para asegurar que sus aguas residuales son tratadas debidamente. Así las industrias, gobiernos y comunidades están prestando más atención a la eliminación de desperdicios de tal forma que no impidan la utilización de las corrientes de agua para otros fines, y evaluando si constituyen un riesgo para la salud y el ambiente, (10,11).

Por esta razón, el análisis económico ambiental de las emisiones actuales, las técnicas de tratamiento y los costos de cumplimiento con dicha norma, pueden ser una herramienta muy útil para la toma de decisiones en este sentido, tanto a nivel de los rastros, como al nivel de las políticas ambientales.

EL CONTEXTO YUCATECO

En Yucatán existen en total 53 rastros establecidos en las cabeceras municipales y poblaciones más numerosas. Las especies que principalmente se sacrifican son cerdos, bovinos y aves, (pollos y pavos); los rastros manejan diferentes volúmenes y diferentes especies, dependiendo de la demanda que tengan. Así, para el año de 1995 se sacrificaron 1,017,921 cerdos, 142,776 bovinos, 49,418,556 pollos y gallinas, y 173,360 pavos. Asimismo, se ha observado que la situación referente al manejo y descarga de las aguas residuales, varía de rastro a rastro.

Comúnmente se clasifican a los rastros en municipales, privados (no TIF, Tipo de Inspección Federal) y TIF.

Tipo de Rastro	Número de rastros en Yucatán
Rastros Municipales (reconocidos por la Secretaría de Salud)	41
Rastros particulares	8
Rastros TIF	4

En general, los rastros TIF son los que cuentan con mejores instalaciones, (para matanza y tratamiento de aguas residuales) y mayor saneamiento, sin embargo, aunque reciben visitas constantes de representantes de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR), hay algunos que todavía cuentan con grandes deficiencias.

Cabe resaltar que las empresas que cubren la mayor parte del sacrificio de animales, se han ocupado más que el resto, en la salubridad de la carne producida, pero a su vez, cuentan con sistemas de tratamiento del agua residual así como plantas de rendimiento en las que procesan los esquilmos generados para darles un uso comercial.

PROCESO DE CONTAMINACIÓN

Los animales durante el sacrificio, eliminan sangre, leche, bilis, contenido gastrointestinal, orina, pus y tejidos necrosados, que contienen microorganismos y que son arrastrados hacia sistemas de recolección y eliminación de desechos líquidos, al igual que el agua utilizada en los procesos de lavado durante y después de la matanza. Este proceso podría generar un fuerte impacto al medio ambiente cuando los diseños de construcción de las plantas, particularmente los relacionados con los sistemas hidráulicos, no cumplen con las especificaciones requeridas. Las deficiencias en el diseño de los muros, ventanas, pisos, etc., pueden contribuir a incrementar la contaminación ambiental dentro del rastro, aumentando así la carga microbiana de las aguas residuales.

La producción de desechos sólidos (estiércol, grasas, pelos, plumas, etc.), que se mezclan con el agua durante las tareas de lavado de vísceras y otras partes del canal, así como los residuos provenientes de la limpieza de las instalaciones, incluidos los corrales de los animales, dan como resultado gran variedad de contaminantes (físico-químicos, biológicos y microbiológicos).

Algunas investigaciones determinan que las descargas de los rastros constituyen fuentes de contaminación al ambiente por la presencia de microorganismos como la *Salminella arizona*, *S. iexington*, *S. newport*, *S. weltevredlen*, *S. argona*, *S. biagra*, *S. Schwarxengrund*, *S. anatum*, (5 ó 7,9,10,13,28); *C. Perfringens*, (5,79); *Listeria monacytogenes*, (2,12); microorganismos mesófilos, (6,7) y virus, (4).

Asimismo, las plantas procesadoras de carne generan desperdicios que no son eliminados correctamente, ya que deberían recibir un tratamiento previo a la salida del establecimiento; desde el punto de vista higiénico, la evaluación de estos desechos involucra a contaminantes que por su naturaleza son perjudiciales para el ambiente, la salud humana y animal, (1,11,16).

Las precauciones tomadas para evitar la dispersión de los gérmenes o residuos de los animales como agentes infecciosos a través de las aguas residuales de los rastros, son pocas, e incluso en las plantas más moder-

nas esto no se considera y las aguas procedentes de la matanza se mezcla con los drenajes municipales (o se destina a pozos “profundos” en el caso de Yucatán), trayendo como consecuencia un incremento en la demanda bioquímica y química de oxígeno² BO y DQO, la presencia de grasas, proteínas y otros solutes en el agua (pelos, sangre, etc.), (8,14,15).

Los desperdicios corporales, alimentos, papel, trapos y gérmenes que también forman parte de los sólidos presentes en las aguas residuales, son atacados por bacterias dependiendo de la temperatura y la presencia de oxígeno, dando como resultado los procesos de putrefacción afectando la rapidez de estabilización de la materia orgánica, el nivel de saturación del oxígeno molecular y la rapidez de aireación; al aumentar la temperatura se incrementa la constante de degradación, cambiando el pH, incrementándose la demanda de oxígeno y obstaculizándose la capacidad de autopurificación del agua, (11,18).

Así el agua residual generada por los rastros puede presentar altos contenidos de nitrógeno (total y amoniacal), nitratos, nitritos, grasas y aceites entre otros.

El nitrógeno como el oxígeno están clasificados como solubles y como no reaccionan con el agua químicamente, su solubilidad está en proporción directa con sus presiones parciales, dependiendo de la temperatura y la cantidad de la materia orgánica que se puede oxidar microbiológicamente a nitratos y nitritos. Estos procesos ocurren naturalmente en las corrientes de agua y contribuyen con los procesos de autopurificación. El nitrógeno presente en el agua, se encuentra en forma de proteína y amoníaco, y a medida que pasa el tiempo el nitrógeno orgánico se transforma en amoniacal y se encuentra en condiciones sin oxígeno molecular, reducido por procesos de desnitrificación que eliminan el nitrógeno de los desechos, (18,30).

² La autoridad reguladora local posee un considerable grado de autonomía para interpretar como 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.

El amoníaco en solución acuosa es tóxico para la fauna acuática a bajas concentraciones y ésta dependerá del pH y la temperatura. La presencia de amoníaco reduce la efectividad de la cloración, mientras que la nitrificación complica la determinación en el laboratorio de la DBO, (18,30).

La presencia de grasas y aceites en las aguas como emulsión de residuos, incluye a los glicéridos de origen animal y vegetal, ceras, y ácidos grasos, que provocan problemas de olores y sabores desagradables, afectando el sabor de los peces para consumo humano, (18).

LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL

La legislación ambiental que ha entrado en vigor referente a la descarga de aguas residuales de todo tipo de industria, es la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, (LFDMA) emitida en 1998 por la Comisión Nacional del Agua, (CNA), junto con la NOM-001-ECOL emitida en 1996 por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, (SEMARNAP). El efecto combinado de la LFDMA/NOM-001 ha resultado en el siguiente marco legislativo:

1. Se especifican los parámetros máximos de descarga (véase Tabla 1). Estos parámetros están divididos en tres zonas (con base en el uso que se le dé al agua), de las cuales la zona C presenta los estándares más estrictos. En la fase de cumplimiento inicial (es decir, el periodo durante el cual los rastros realizan las acciones necesarias para lograr estar en cumplimiento con la norma después de las fechas límites establecidas) los rastros son libres de establecer un sistema de tratamiento para cumplir con la LFDMA/NOM-001, o de pagar una cuota por descargar basada en la magnitud en que las concentraciones de descarga excedan los estándares especificados, (o límites máximos permisibles).
2. Se ha declarado una exención de pago de las deudas contraídas con la (CNA), para todos aquellos rastros 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 ciertas fechas establecidas. Las fechas límite varían entre el 30/06/97 y el 31/12/99 para la presentación del programa de acción, y entre el 01/01/2000 y el 01/01/2010

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.

3. Durante la fase de ejecución del programa de acción, los rastros Yucatecos están obligados a cumplir con los parámetros especificados para el cuerpo receptor “acuífero”, de acuerdo con la clasificación (esto es tipo A, B o C) que establece la LFDMA). En caso contrario, los rastros enfrentarán el peligro de multas o suspensión y cierre de la empresa. Las sanciones o multas serán mayores en tanto mayor sea el grado de incumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la norma. A partir del momento en que se descubre el incumplimiento, el rastro tendrá un plazo para cumplir con los parámetros establecidos en la norma, al término del cual, si se sigue incumpliendo, la empresa será suspendida o clausurada.
4. De manera alternativa, en caso que el rastro pueda utilizar el agua residual para riego agrícola (como fertilizante, por ejemplo), el rastro deberá cumplir con los parámetros establecidos bajo la columna “cuerpo receptor tipo A, suelo con uso en riego agrícola” de la tabla 1, y se debe comprobar ante la CNA que la lámina de riego utilizada no es “demasiado grande”. Vale la pena resaltar como casi ningún parámetro de calidad se define para el riego agrícola, (es decir, los límites máximos permisibles son más fáciles de cumplir que para el caso de descarga en acuífero”). La definición del tamaño de la lámina de riego es entonces muy importante, (y todavía falta una precisión normativa) para asegurar la calidad ambiental.

En resumen, bajo la LFDMA/NOM-001, los rastros enfrentan ciertas opciones; cumplir con los parámetros de la norma para descarga en acuífero o realizar un tratamiento de las aguas residuales que sea suficiente para cumplir con los requisitos del uso del agua residual para riego agrícola. En este último caso, la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento elegido, debe ser compatible con los requerimientos agronómicos de los cultivos en el terreno disponible para que el rastro riegue el agua residual. Es decir, los cultivos tendrán que ser regados con una cantidad de agua residual que pueda ser completamente absorbida, asegurando así que no haya lixiviación de nitrógeno u otros contaminantes al manto freático.

De esta manera, el agua residual generada por los rastros tendrá que ser regada en grandes extensiones de tierra. Sin embargo, la cantidad de terreno disponible por los rastros parece limitada (entre cero y 4 hectá-

reas) y hasta la fecha la agencia regulatoria, (la CNA) no ha autorizado ningún tipo de riego.

De cualquier modo, el objetivo del rastro es minimizar los costos netos de cumplimiento (que incluyen el costo bruto de tratamiento, menos el valor de cualquier subproducto como veremos más adelante), teniendo en cuenta los requisitos de la norma.

METODOLOGÍA

Al iniciar el estudio se conformó un listado de todos los rastros existentes en el estado de Yucatán, con información proporcionada por la Secretaria de Salud y por la dependencia de Sanidad Animal de la SAGAR. Posteriormente, los rastros se clasificaron de acuerdo al número de animales sacrificados al mes, a la(s) especie(s) sacrificada(s), a la localización, instalaciones, y tipo de rastro (privado o de gobierno y con o sin acreditación TIF).

Una vez realizada la clasificación se eligieron y visitaron los 10 rastros más representativos para los objetivos del estudio (de acuerdo a su tipo y tamaño, especie sacrificada y tipo de tratamiento del agua residual). Durante esta visita se hizo un recorrido general por el rastro para observar sus instalaciones, formas de sacrificio y proceso y conservación de los canales, al igual que para ver si contaban con un sistema de tratamiento adecuado para tratar sus aguas residuales. De forma paralela se aplicó una encuesta a los administradores del rastro.

Luego de haber visitado los 10 rastros, se hizo una nueva reclasificación con base en lo observado, en la encuesta y en la aceptación o no, por parte del administrador del rastro para participar en el proyecto; quedando de esta forma 5 rastros participantes.

Los 5 rastros participantes son de diferentes tipos, (municipales, privados y TIF) y tamaños, sacrifican diferentes especies animales y presentan diferentes grados de tratamiento del agua residual generada. Cabe aclarar que debido a que se prometió a los dueños de los rastros que los datos obtenidos serian confidenciales, se les asignó letras de la A a la

E a los diferentes rastros participantes los 5 rastros de la muestra representan el 9.4% de la población total de rastros en el estado de Yucatán, y se describen a continuación.

TABLA 1.
Rastros de la muestra

Rastro	Tipo	Especies	Número de animales promedio sacrificados por día	Grado de tratamiento
A	Municipal	Bovinos Cerdos	3 13	1
B	Privado	Bovinos Cerdos	11 11	2
C	Municipal	Bovinos Cerdos	125 450	3
D	Privado	Pavos	700	4
E	TIF	Pollos	45,000	5

Se tomaron muestras de agua residual y agua de abasto (proveniente de pozos en todos los casos). Las muestras se tomaron cada mes durante 10 meses consecutivos, y se realizaron a la hora de la matanza de los animales. Los pozos fueron aquellos indicados por el operador para el abastecimiento del rastro.

Se realizaron análisis exploratorios para reconocer las diferencias entre los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua residual y de pozo. Para ello se hicieron comparaciones entre los parámetros obtenidos para los diferentes grados de tratamiento dados a las aguas residuales. El muestreo y el análisis de laboratorio se realizaron conforme a los estándares practicados en la Facultad de Ingeniería de la UADY, basados a su vez en los *Standard Methods*, (1992). Los parámetros registrados incluyeron temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, nitrógeno

total (NkT), nitrógeno amoniacal, grasas y aceites, fósforo total, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y coliformes fecales, cloruros y nitrógeno de nitratos.

Paralelamente a la toma de muestras se realizaron algunas pruebas para determinar la cantidad de agua residual generada por cada uno de los rastros. Para hacer este calculo se siguieron varios procedimientos de acuerdo a las características de cada rastro. Asimismo, se cálculo la cantidad de subproductos generados por día. Y la cantidad potencial de subproductos al instalar un sistema de tratamiento para las aguas residuales.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

A. Resultados

A continuación se presenta el resumen de datos y los resultados de los análisis para las aguas residuales y de abastecimiento (de pozo) muestreadas.

En la tabla 2 se indican los parámetros medidos y el número de datos obtenidos para cada parámetro.

TABLA 2.
Parámetros medidos y número de datos obtenidos

	Agua residual	Agua de pozo
Número de rastros muestreados	5	5
Número de puntos de muestreo	5	5
Número de días de muestreo por rastro	10	10
Número de muestreos totales	50	50
Número de muestras	70	50

Parámetro	Abreviatura	Unidad de Medida	Número de datos	Número de datos
Temperatura	T	°C	70	50
Acidez/Alcalinidad	pH	s/u	70	50
Conductividad eléctrica	CE	mS	70	50
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	64	46
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	70	-
Sólidos sedimentables	SSSED	mg/l	70	-
Nitrógeno Kjeldabl Total	NKT	mg/l	70	-
Nitrógeno amoniacal	NH3	mg/l	70	-
Grasas y Aceites	GYA	mg/l	70	-
Fósforo total	PT	mg/l	70	-
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5	mg/l	70	50
Con 5 días de incubación	-	-	-	-
Cloruros	Cl	mg/l	-	50
Nitratos	N-NO3	mg/l	-	50
Coliformes totales	CT	NMP/100	35	25
Coliformes fecales	CF	NMP/100	35	25

Vale la pena aclarar que de los 3 rastros para bovinos y cerdos, 2 de ellos realizaban la matanza por especies separadas, lo cual incrementó el número de muestras de agua residual. Asimismo, para el análisis de coliformes totales y fecales se tomaron solamente 5 muestras para cada rastro, debido a su alto costo, material requerido, tiempo de laboratorio y personal involucrado.

A continuación, en las tablas 3 y 4 se presentan los resultados promedio de los parámetros analizados para cada uno de los rastros, tanto para agua residual como para agua de abastecimiento, (agua de pozo).

De acuerdo a un criterio arbitrario establecido por el coeficiente de variación, (CV: desviación estándar entre media por ciento), puede decirse que el agua residual, (AR) generada por los diferentes rastros mostró muy alta variabilidad, (CV > 80%) en los sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, coliformes totales y fecales; por otro lado, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, el nitrógeno amoniacal y la demanda bioquímica de oxígeno tuvieron una

variabilidad moderada ($20\% < CV < 80\%$); y la temperatura, la acidez, el nitrógeno Kjeldahl total y el fósforo total tuvieron una baja variación, ($CV < 20\%$).

Con el mismo criterio de variación, puede decirse que el agua de pozo, (AP) mostró alta variabilidad en nitritos, coliformes totales y fecales; variabilidad moderada en cloruros, y baja variabilidad en temperatura, acidez, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y demanda bioquímica de oxígeno.

TABLA 3.
Parámetros promedio de agua residual

Parámetro	Unidad	Rastro A Bov-cdo	Rastro B Bovino	Rastro B Cerdo	Rastro C Bovino
T	°C	28.4	28.4	27.6	27.5
pH	s/u	7.5	7.5	7.3	7.2
CE	mS	1805.0	6989.1	4506.2	1797.0
SDT	mg/l	1764.2	4269.4	3383.6	1120.2
SST	mg/l	1178.9	1056.5	1246.3	1040.1
SSED	mg/l	8.1	7.0	11.5	13.2
NKT	mg/l	777.7	591.5	537.1	506.7
NH3	mg/l	172.6	95.3	184.3	316.0
GYA	mg/l	209.8	290.6	654.8	168.3
PT	-	mg/l	14.4	23.2	34.2
DBO	mg/l	1425.0	1749.1	1197.5	1475.5
CT	NMP/100	12,354,000	7,115,000	16,601,800	9,786,000
CF	NMP/100	12,354,000	2,721,400	14,001,800	7,246,000

TABLA 3. (CONTINUACIÓN)
Parámetros promedio de agua residual

Parámetro	Unidad	Rastro C Cerdo	Rastro D Pavos	Rastro E Pollos	Coef Var.(%)
T	°C	27.3	27.0	28.3	2.03
pH	s/u	7.1	7.4	7.7	3.77
CE	MS	2002.4	1921.5	2915.4	23.68
SDT	mg/l	1226.3	1278.2	1912.1	25.86
SST	mg/l	1208.0	236.2	125.5	84.41
SSED	mg/l	7.4	2.3	0.1	101.06
NKT	mg/l	483.6	342.9	443.5	16.29
NH3	mg/l	216.0	242.4	384.4	26.24
GYA	mg/l	219.4	36.8	27.2	84.87
PT	-	18.5	15.0	0.2	20.8
DBO	mg/l	1225.5	413.5	235.0	72.32
CT	NMP/100	12,734,000	1,248,333	243,680	103.31
CF	NMP/100	8,414,000	716,833	248,680	102.80

TABLA 4.
Parámetros promedio de agua de pozo

Parámetro	Unidad	Rastro A	Rastro B	Rastro C	Rastro D	Rastro E	Coef. Var. (%)
T	°C	27.9	28.2	27.8	27.6	28.0	0.72
pH	s/u	7.2	7.5	7.3	7.3	7.4	0.48
CE	mS	1321.5	1128.7	1193.7	967.6	1319.0	15.35
SDT	mg/l	876.2	748.2	768.9	617.2	829.9	14.83
DBO	mg/l	1.3	0.6	0.9	0.9	1.3	21.93
Cl	mg/l	187.5	177.4	171.7	104.0	205.5	32.20
N-NO3	mg/l	7.8	8.6	2.7	26.1	3.4	124.13
CT	NMP/100	10.0	45.8	26.8	8740.0	11.2	172.08
CF	NMP/100	9.0	43.6	6.6	8740.0	4.0	172.89

Las sustancias y productos generados durante el proceso de matanza, tales como sangre, grasas, estiércol, y sólidos, (cerdas, plumas, etc.), entre otros, le dan a las aguas residuales las características de un alto contenido de materia orgánica, (DBO), alto contenido de grasas, nitrógeno y fósforo, y alta presencia de sólidos.

En efecto, como podemos comprobar en la tabla 3, los parámetros DBO, GyA, NKT, PT y SST son elevados para el agua residual de todos los rastros. Sin embargo, para todos los casos, excepto para los niveles de PT, los rastros de pavos y pollos presentan, relativamente hablando, menores niveles (en mg/lt) que para cerdos y bovinos. A primera vista se puede pensar que esto podría explicarse por el hecho de que las especies pavo y pollo contaminan menos, o debido a que los rastros de estas especies tienen un mayor tratamiento de sus aguas.

Contrario a esto, al hacer una comparación, (tabla 5), de los niveles de DBO, ya no expresado en mg/lt, sino como gramos de DBO total en el rastro por kilogramo vivo (que se obtiene al dividir los gramos de DBO contenidos en el total del agua residual generada por el rastro, entre el número total de kilogramos vivos de los animales a sacrificar), encontramos que precisamente el rastro E, que sacrifica pollos y que presenta el mayor tratamiento de los rastros estudiados, es el que presenta el mayor nivel de DBO por kg., viva.

Esto se explica debido al hecho de que este rastro es el que está utilizando mayor cantidad de agua por kg., viva para el lavado durante el proceso de matanza, por lo que los residuos generados son fuertemente diluidos.

TABLA 5.
Demanda bioquímica de oxígeno total, y por kg., de peso vivo

Parámetro	Unidad	Rastro A	Rastro B	Rastro B	Rastro C	Rastro C	Rastro D	Rastro E
		Bov-cdo	Bovino	Cerdo	Bovino	Cerdo	Pavos	Pollos
DBO	mg/lit	1425.0	1749.1	1197.5	1475.5	1225.5	413.5	235.0
DBO	g/lit	1.42	1.75	1.20	1.48	1.23	0.41	0.24
Agua residual total	lt	3350	2411	1714	16750	111600	20300	990000
DBO total	g	4774	4218	2053	24715	136760	8395	232672
Animales sacrificados	kg vivo	2250	4571	1143	50000	45000	7000	67500
DBO x kg viva	g	2.12	0.92	1.80	0.49	3.04	1.20	3.45
Agua residual	lit/kg vivo	1.49	0.53	1.50	0.34	2.48	2.90	14.67

B. Comparación con la norma

Se compararon los resultados obtenidos en los análisis de agua residual y de agua de los pozos de abastecimiento de los rastros, en la LFDMA, 1998, (véase anexo, tabla 1).

En primer lugar, para el caso de las aguas residuales, comparamos los resultados de los análisis en los límites máximos permisibles establecidos en la LFDMA, 1998 para aguas descargadas al “acuífero”. En la actualidad cuatro de los rastros estudiados descargan en pozos profundos y uno en cuevas, lo que es considerado en la ley como descarga al acuífero, (situación que se presenta en la mayoría de los rastros de Yucatán); cuatro de los rastros (B, C, D y E) tienen cuerpos receptores tipo C, y el rastro A tiene cuerpo receptor tipo A, (con límites máximos permisibles más fáciles de cumplir).

TABLA 6.
*Cumplimiento con la normatividad para descarga
de aguas residuales en el acuífero*

Parámetro	Lím max per.	Lím max per.	Rastro A	Rastro B	Rastro B	Rastro C	Rastro C	Rastro D	Rastro E
Receptor	Recep- tor A Acuífe- ro	Recep- tor C Acuífe- ro	Recep- tor A Bov- Cdo	Re- ceptor C Bovi- no	Recep- tor C Cerdo	Recep- tor C Bovino	Recep- tor C Cerdos	Recep- tor C Pavos	Recep- tor C Pollos
pH	5 A 10	5 A 10	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
SST	150	40	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NKT	40	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
GYA	15	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PT	20	5	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DBO	150	30	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF	1,000	1,000	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

* Límites máximos permisibles establecidos en la LFDMA 1998.

Como se puede observar, solamente en el caso del pH, todos los rastros cumplen con el límite máximo permisible establecido por la LFDMA, 1998. Sin embargo, para el resto de los parámetros y rastros (excepto para el PT del Rastro A), no hay en la actualidad cumplimiento en la normatividad. Es importante destacar que la falta de cumplimiento con la norma se da aún en rastros que ya han instalado algún tipo de tratamiento, lo cual nos hace pensar que los tratamientos establecidos no son suficientes o que no se vigila su funcionamiento de manera adecuada.

Es así que todos los rastros de la muestra estarían obligados a instalar sistemas de tratamiento adecuados para descargar en el acuífero, o a tener terreno suficiente para recurrir a la opción de descargar sus aguas residuales como riego agrícola (receptor: suelo con uso en riego agrícola), ya que así sólo tendrían que encargarse de cubrir el límite máximo permisible para GyA, mientras que para el resto de los parámetros no se aplicaría ningún límite.

En el caso del agua de abastecimiento, se hicieron análisis de los pozos de los cuales se obtiene el agua para el proceso de matanza,

encontrando que todos los rastros de la muestra sobrepasan los límites máximos permisibles para SDT, tres de ellos tienen alto contenido de nitritos y uno de ellos tiene una alta presencia de coliformes. Especialmente para el caso del Rastro D, existe la posibilidad de que se esté dando una infiltración del agua residual hacia el pozo, lo cual pudiera estar sucediendo en muchos otros rastros del estado, debido a la gran fracturación del suelo característica de la Península de Yucatán.

TABLA 7.

Cumpliendo con la calidad requerida para el uso o aprovechamiento del agua como fuente de abastecimiento de agua potable

Parámetro	Lim max perm.	Rastro A	Rastro B	Rastro C	Rastro D	Rastro E
T	cond. nat.+2.5	SI	SI	SI	SI	SI
SDT	500	NO	NO	NO	NO	NO
C1	250	SI	SI	SI	SI	SI
N-N03	5	NO	NO	SI	NO	SI
CF	1000	SI	SI	SI	NO	SI

* "Límites máximos permisibles", en *Lineamientos de calidad del agua*, LFDMA, 1998

C. Comparación con resultados internacionales

En la tabla a continuación (tabla 8), se realiza una comparación de los resultados del análisis de agua residual de rastros yucatecos, con información publicada para rastros de la Comunidad Europea. Para este fin, se elaboraron rangos con los valores mínimos y máximos encontrados.

TABLA 8.
Rango de resultados de la calidad del agua residual en rastros

Parámetro	Unidad	Rastros en	muestra	Rastros en	la CEE *
SST	mg/l	1040-1246	126-236	500-1730	380-710
NKT	mg/l	484-778	343-444	73-248	150-214
GyA	mg/l	168-655	27-37	28-400	40
PT	mg/l	14-34	20-21	24-29	8-71
DBO	mg/l	1198-1749	235-414	800-2070	900-1140
DBO/kg. vivo	g	1.67	2.32	12.2	6.2

* Fuente: *Eurocarne*, núm. 48, julio-agosto 1996, en conjunto con el Estudio del MOPIA para aplicación de directiva, 91/271/CEE, 1994.

Como se puede observar, para el caso de bovinos y cerdos, los rangos de la muestra de rastros yucatecos caen dentro del rango presente en la CEE para el caso de los SST y la DBO; y son mayores para el caso del NKT. Tanto para GyA como para PT, el valor mínimo de los rastros yucatecos entra dentro del rango de la CEE, pero el valor máximo lo sobrepasa.

Para las aves, tenemos que tanto los rangos de SST, como de GyA y DBO para los rastros yucatecos, son más bajos que los rangos presentes en la CEE; el PT entra dentro del rango de la CEE y tan solo el rango de NKT de rastros yucatecos es mayor al de la CEE.

Es posible que los rastros de la CEE pongan mayor énfasis en una menor descarga de NKTYPT debido a que en general, la normatividad de los países europeos se enfoca a una menor descarga de estos dos parámetros. Sin embargo, es interesante observar que la carga contaminante de los rastros, expresada a través de los gramos de DBO por kilogramo vivo, es menor para los rastros yucatecos en comparación con los rastros de la CEE.

Comparando con la normatividad mexicana, y con respecto a los límites máximos permisibles menos difíciles de cumplir, que son para el cuerpo receptor “suelo con uso en riego agrícola”, los parámetros de SST, DBO, NKT y PT no aplican, y solamente se norma con respecto a la

concentración de las GyA. Tanto los parámetros promedio observados en la muestra como los de la CEE para GyA, estarían por arriba de la normatividad.

Con respecto a los límites máximos permisibles más difíciles de cumplir, es decir para cuerpo receptor “ríos con uso en protección de vida acuática, embalses naturales con uso público urbano y acuíferos”, la norma aplica para GyA, SST, DBO, NKT, PT y metales pesados. Tanto los parámetros promedio observados en la muestra yucateca como los de la CEE, rebasan los parámetros establecidos por la norma (cabe aclarar que no hay datos observados para metales pesados).

IMPACTO ECONÓMICO DE LA NOM-001-ECOL

A. Costos y beneficios

Lograr que los estándares ambientales lleguen a un nivel específico implica también un nivel de costos específico para cada rastro en particular. Dichos costos serán los costos de tratamiento *in situ*, que 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. De manera adicional, también existen beneficios al instalar un sistema de tratamiento representados por los subproductos que puedan generarse, tales como sangre, harinas de plumas y/o sangre y otros desperdicios, metano, mayor productividad de pastos en potreros irrigados con el agua residual, etc. Es así que a los costos, (costos de tratamiento más las cuotas de descarga), se les tiene que restar el valor de los beneficios, para así obtener el costo neto del tratamiento. Dado que estos costos y beneficios ocurren en diferentes tiempos, es necesario calcularlos como valor actual neto, (VAN). El objetivo del rastro será entonces minimizar los costos netos teniendo en cuenta el cumplimiento de la norma.

Además de esta evaluación *in situ*, también existen los costos y beneficios *ex situ* los cuales pueden considerarse en la contabilidad general de los costos netos de evitar la contaminación. Entre ellos, existen los que se mencionan a continuación en la tabla 9.

TABLA 9.
Beneficios ex situ

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Ahorro en los costos de potabilización. - Preservación de la vida acuática en los cuerpos receptores. - Desarrollo de actividades productivas y creación de empleos directos o indirectos. - Disminución de riesgo potencial de enfermedades gastrointestinales. - Disminución de fauna nociva y olores en zonas residenciales cercanas a los rastros. |
|--|

Es necesario notar que estos beneficios pueden ser de naturaleza pública y privada. Además de que no todos ellos serán significativos en los diferentes niveles nacionales y regionales. Por ejemplo, la conservación de la vida acuática en forma de pesquerías, no es relevante para aguas subterráneas. El ahorro en los costos de potabilización del agua también son limitados puesto que en muchos casos será necesario seguir agregando cloro para garantizar la calidad del agua sin que importe que los rastros arrojen aguas residuales más o menos contaminadas. El costo del cloro puede ser muy bajo y, por lo tanto, su menor aplicación será de poca importancia económica.

Los costos públicos de perforar nuevos pozos no contaminados también pudieran reducirse. Sin embargo, puesto que los rastros no son la única fuente de contaminación, su importancia pudiera ser menor. Además, el número de casos de enfermedades gastrointestinales en Yucatán que se puede atribuir a los rastros, son pocos y los costos de tratamiento médico son bajos.

En resumen, los costos y beneficios de los sistemas de tratamiento en Yucatán se muestran en la tabla 10.

TABLA 10.
Costos y beneficios de los sistemas de tratamiento en Yucatán

Costos <i>in situ</i>	Beneficios <i>in situ</i>	Beneficios <i>ex situ</i>
Instalación de sistema de casos	Valor de los subproductos	Menor número de casos gastrointestinales
Operación y mantenimiento	Menores gastos en sistemas de producción	Menor contaminación de agua subterránea
		Menores olores y fauna nociva

Nótese que los beneficios *ex situ* son de difícil valoración (ejemplo: olores y contaminación) o de bajo valor económico (como los casos de enfermedades gastrointestinales) y por esto un análisis de costo-beneficio de la norma a nivel de Yucatán no tiene mucho sentido.

Nótese también que el rastro sólo tomará en cuenta los costos y beneficios *in situ*. Es por esto que el análisis realizado a continuación se enfoque nada más en costos *in situ*.

B. Opciones de sistemas de tratamiento para aguas residuales de rastros

El rastro tiene, en principio, una amplia gama de elecciones respecto a los sistemas y sus componentes. Hasta cierto punto, cada rastro tiene sus condiciones particulares las cuales determinarán lo más o menos apropiado de un sistema.

En general, un sistema de tratamiento requerirá un cárcamo o fosa séptica con trampa de grasas 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 separar cuantos sólidos sean posibles. Después de eso, el agua sobrante puede requerir más tratamiento en una laguna anaeróbica o un biodigestor. En este estudio, consideramos tres tipos de tratamientos diferentes.

El primero, referido como sistema 1, (T1), es un sistema de filtro lento particularmente adecuado para rastros pequeños por el reducido volumen

de aguas residuales, esto es, menos de 30m³ diarios totales. El sistema 1 es de bajo costo y ha sido diseñado en la Facultad de Ingeniería de la UADY; incluye un cárcamo, la separación manual de los sólidos y un filtro lento. El tamaño de éste último limita la aplicabilidad del sistema en rastros mayores. Con este sistema se espera remover un 80% de las grasas y aceites y reducir la carga de DBO y SST a 100 y 50 mg/l respectivamente. El PT y NkT se reducirán a través del proceso de separación de los sólidos en un porcentaje de aproximadamente 35% y 51 por ciento respectivamente.

Un segundo tipo, sistema 2, (T2), es el reactor anaeróbico con filtro anaeróbico, el cual puede emplearse en rastros mayores. Cuenta con un cárcamo, dos separadores mecánicos, (cada uno de ellos con una malla de tamaño diferente), un homogenizador para asegurar una mezcla uniforme del agua residual, un reactor y un filtro anaeróbico con retro-lavado. La eficiencia de remoción es casi igual al sistema 1, (T1) pero el costo es más alto, principalmente debido al hecho de que se usan separadores mecánicos y no manuales.

El tercer sistema, referido como sistema 3, (T3), incluye un reactor anaeróbico, una zanja de oxidación y un sedimentador.

Los tres sistemas son parecidos a los sistemas de tratamiento para granjas porcícolas descritos por Drucker *et. al.*, Sin embargo, hay importantes diferencias debido al hecho de que se necesita un control del flujo mucho más preciso y con mucho más recirculación que para las aguas porcícolas de granjas. Además se necesita reducir la cantidad de grasas y aceites, lo cual no se da en las aguas residuales de las granjas.

C. Costos de tratamiento

Por esto, el costo es aproximadamente 10, 15 y 50 por ciento más alto para los sistemas 1, 2 y 3, respectivamente, que para las granjas. En la

tabla 11 podemos ver los valores actuales anualizados³ de los sistemas de tratamiento.

También se pueden apreciar fuertes economías de escala en los costos de tratamiento por metro cúbico *de agua residual* generada cuando se utilice el sistema 3, al igual que en el caso de las granjas.

Expresando los costos como un porcentaje del precio del sacrificio podemos ver que el costo de cumplir con la NOM varía hasta casi 60% en el caso del sistema 3. Por lo general esta cifra no rebasa el 10% para el caso de las granjas.

D. Los subproductos en los rastros

Se espera que los costos brutos mencionados en la tabla 11, puedan ser reducidos a través del aprovechamiento de los subproductos.

Los rastros producen una variedad de subproductos durante el proceso de sacrificio. En el caso de pollos y pavos se producen sangre, plumas, vísceras, excremento, huesos y tejidos varios, animales rechazados y contenido intestinal. Para los cerdos y bovinos también hay sangre y vísceras, además de pelos, pieles y cueros, contenido intestinal, huesos y tejidos varios, animales rechazados y excremento.

En los casos donde estos productos tienen valor en el mercado, (por ejemplo: harina de sangre, harina de plumas, cerdas), se puede esperar bajar los costos brutos de cumplimiento. Sin embargo, no todos los rastros aprovechan sus subproductos potenciales por varios motivos. Esto es, por falta de un mercado para los subproductos, (principalmente para la sangre), la pequeña escala de sacrificio, (que implica que no vale la pena invertir en el procesamiento de subproductos potenciales), y el hecho de que en algunos casos los subproductos pertenecen al dueño del animal y no al rastro.

³ Esto es el valor actual de los costos de inversión y operación/mantenimiento, basados en una vida útil de 15 años con una tasa de descuento de 10%, expresado como el equivalente de un valor actual constante durante 15 años.

TABLA 11.
Valor actual anualizado (dólares americanos) de los costos de cumplimiento con la NOM-001 de los rastros

Rastro	A	B	C	D	E
Terreno disponible (Ha.)	0.2	Según Necesidad	4	0	36
Uso de agua/año (m3)	1,219	1,502	46,719	7,389	360,360
Costo Sacrificio/T (US\$)	34	27	33	110	
Peso Vivo Total (T)	910	2002	34625	2548	3276
DBO (kg/día)	4.8	7.2	189.4	8.4	232.7
TSS (kg/día)	3.9	5.1	155.0	4.8	124.2
Fecha límite de cumplimiento (año)	2010	2010	2010	2010	2010
Costo T1 (US\$/año)	1072	1097	NA	1617	NA
Terreno Necesario (Has.)	0.77	0.73	NA	2.07	NA
Costo de Riego (US\$/año)	386	236	NA	1,186	NA
Costo Bruto (US\$/año)	1,458	1,333	NA	2,803	NA
Valor del Pasto (US\$/año)	230	216	NA	616	NA
Costo Neto (US\$/año)	1 228	1,117	NA	2,187	NA
Costo Neto por m3 de agua residual (US\$)	1.01	0.74	NA	0.30	NA
Costo Neto Tratamiento por ton/Costo Sacrificio (%)	4.0%	2.1%	NA	ND	NA
Costo Neto Tratamiento por Ton (US\$)	1.35	0.56	NA	0.86	NA
Costo T2 (US\$/año)	NA	NA	15,091	NA	77,549
Terreno Necesario (Has.)	NA	NA	19.33	NA	130.52
Costo de Riego (US\$/año)	NA	NA	10,076	NA	65,788
Costo Bruto (US\$/año)	NA	NA	25,167	NA	143,337
Valor del Pasto (US\$/año)	NA	NA	5,751	NA	38,830
Costo Neto (US\$/año)	NA	NA	19,416	NA	104,507
Costo Neto por m3 de agua residual (US\$)	NA	NA	0.42	NA	0.29
Costo Neto Tratamiento por Ton/Costo Sacrificio (%)	NA	NA	1.7%	NA	29.0%
Costo Neto Tratamiento por Ton (US\$)	NA	NA	0.56	NA	31.90

TABLA 12.
Costos brutos medidos a través del aprovechamiento de subproductos

Rastro	A	B	C	D	E
Costo T3 (US\$/año)	17,835	18,088	38,106	21,524	179,800
Terreno Necesario (Has.)	0.19	0.23	7.30	1.15	56.31
Costo de Riego (US\$/año)	61	74	3,183	659	23,266
Costo Bruto (US\$/año)	17,896	18,162	41,289	22,183	203,066
Valor del Pasto (US\$/año)	57	70	2 172	343	16 751
Costo Neto (US\$/año)	17,840	18,092	39,117	21,839	186,315
Costo Neto por m3 de agua residual (US\$)	14.63	12.05	0.84	2.96	0.52
Costo Neto Tratamiento por Ton/Costo Sacrificio (%)	58%	34%	3%	ND	52%
Costo Neto Tratamiento por Ton (US\$)	19.60	9.04	1.13	8.57	56.87
Opción Transporte	4,695	5,781	179,870	28,448	1,387,386

NA=No Aplicable; ND= No Disponible; T1= Tratamiento 1; T2= Tratamiento 2; T3= Tratamiento 3.

Además, en el caso de los rastros, (y al contrario del caso de las granjas) muchas veces se pueden aprovechar de los subproductos sin instalar un sistema de tratamiento adecuado, (con la excepción del metano proveniente del reactor anaerobio pero esto es de poco valor)⁴. Esto dificulta bastante la realización del cálculo del valor neto de los costos de tratamiento.

Sin embargo, en el caso del rastro de pollos, (*rastro E*) si se puede calcular el valor de los subproductos debido a que el rastro es dueño de los animales y si aprovecha de los subproductos, (pero continúa sin necesitar de la instalación de un sistema de tratamiento para hacerlo). En este caso los subproductos, (sangre, plumas y vísceras) llegan a tener un valor de US\$120 por día, (13.3gr., por pollo que vale N\$2 kg) o sea un valor actual anualizado de US\$43,680, (25% del valor de T3).

⁴ Llegando para los sistemas 2 y 3 a menos US\$50 por año para los rastros A, B y D, y alrededor de US\$1,000 para los rastros mayores (C y E), lo que no es suficiente para inducir un cambio en la elección de un sistema u otro.

Esto es mucho menos que en el caso de las granjas porcícolas donde en muchos casos se puede esperar cubrir una gran parte de los costos de cumplimiento. Esta diferencia se debe al alto valor de los subproductos provenientes del sistema de tratamiento de las granjas, tales como el alimento animal y el fertilizante del agua residual compuestos de las excretas porcícolas, lo que no aplica en el caso del agua residual de los rastros. Sin embargo, es un valor significativo que indica que los rastros podrían buscar maneras de aprovechar sus subproductos cuando esta actividad es costo-eficiente.

Bajo la premisa de que se puedan utilizar las aguas residuales tratadas para el riego de pasto Taiwán (y no nada más destinarse a un pozo profundo), que es un cultivo altamente capaz de absorber nitrógeno, esto resultaría en un aumento en productividad de 95 toneladas de pasto por hectárea (para llegar a un total de 135 toneladas/ha.). Cada tonelada vale US\$25.60 (Drucker *et. al.*, 1999). Así, se puede esperar un retorno de US\$1,900 ($US\$25.6 \times 95 = US\$2,432$ menos US\$532) por año por hectárea tomando en cuenta que los costos del riego equivalen a US\$532 por hectárea. El valor obtenido obviamente dependerá del número de hectáreas disponibles para riego, pero sigue siendo una opción muy efectiva⁵ en el caso de que haya suficiente terreno cercano al rastro.

Por otro lado, si se puede conseguir acceso a terreno suficiente se pueden evitar los derechos de descargar y obtener un lucro por la actividad de riego.

CONCLUSIONES

A través del estudio de los residuos generados por los rastros llegamos a dos conclusiones básicas. Por un lado, la calidad de las aguas residuales de los rastros muestreados, se caracterizaron por tener una alta variabilidad en algunos de los parámetros, lo cual podría condicionar también la

⁵ Tomando un valor de terreno en Yucatán de aproximadamente US\$2,500 por hectárea, lo que implica un costo de oportunidad de US\$250 por año basado en una tasa de interés del 10 por ciento.

aplicación eficiente de la norma. Las normas actualmente se limitan a señalar la realización de muestreos representativos de las aguas descartadas, pero no precisan con qué grado de confianza deberán establecerse ni reportarse los resultados de tales muestreos.

Por otro lado, encontramos que los rastros difieren mucho en el uso del agua por kilogramo vivo sacrificado, por lo que los residuos contaminantes muchas veces se encuentran sumamente diluidos. Es así que al reportar los parámetros de calidad del agua en miligramos por litro, no estamos dando una medida de la contaminación total generada por los rastros, y pudiera parecer que un rastro con bajos niveles en los parámetros (en mg/lit) contamina poco, cuando la realidad es otra.

Una de las metas del proyecto era hacer un análisis comparativo entre la producción y sacrificio porcino para tener una visión más completa del proceso y grado de contaminación del agua provocada por estas actividades económicas.

Como hemos visto, el caso de los rastros es bastante diferente del caso de las granjas. A pesar del hecho que hay serios problemas de contaminación en los rastros, (como lo demuestra el hecho de que los límites máximos permisibles de la norma son en la mayoría de los casos rebasados), esta no alcanza los mismos niveles que las granjas. Tanto el uso de agua y su carga contaminante es mucho menor en los rastros, con la excepción de las grasas y aceites, como se aprecia en la tabla 12.

TABLA 12.

Comparación del uso de agua y carga contaminante en rastros y granjas porcícolas por 100 kg., de peso vivo

	Agua residual (litros)	NKT (kg.)	PTT (kg.)	SST (kg)	Grasas y aceites	DBO (kg)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)
Granja porcícola	4,500	9.0	2.3	108	0.00	45	7.7E+11
Rastro de cerdos	209	0.11	0.01	0.25	0.09	0.25	11E+6

Fuente: *PigMex* y encuesta propia.

Esto implica que el proceso de llevar a las granjas y a los rastros al cumplimiento de la NOM-001, se debe concentrar inicialmente con las granjas. De hecho, esto es lo que está pasando actualmente.

En segundo lugar, el vínculo entre los sistemas de tratamiento y el aprovechamiento de los subproductos potenciales es mucho menos fuerte en los rastros que en las granjas. Asimismo, su valor es mucho más reducido. Esto reduce el incentivo de construir sistemas de tratamiento y pagar sus costos con el aprovechamiento de los subproductos.

BIBLIOGRAFÍA

Las referencias entre paréntesis a lo largo del documento, son provenientes de: Legaspi Paul, Theresita. Tesis de Maestría, *Caracterización del agua potable y residual resultante de los procesos de matanza en el rastro municipal de Toluca, Estado de México*. División de estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México D. F., 1995.

Vázquez, E. y Zapata, A.; "Calidad bacteriológica del agua de consumo del puerto de Sisal, Yucatán"; *Boletín Académico* Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Yucatán, núm. 22, pp. 41-51, 1993.

Moya, Ayda; "Comportamiento de una descarga de agua residual de matadero mediante el tratamiento anaeróbico. UASB filtro anaeróbico", en Memorias del IV Seminario-Taller Latinoamericano: *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*, Bucaramanga, Colombia, noviembre 19 al 22, 1996, pp. 339.

Drucker, A., Gómez, V., y Magaña, S., "¿Contaminante o bien?: la importancia del valor de los subproductos en la determinación de estrategias y políticas para el tratamiento de los desechos animales", en Investigación Económica, enero-marzo 1999, núm. 227, UNAM, México.

ANEXO 1
TABLA 1.
Parámetros máximos permisibles para descarga, por cuerpo receptor

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Tipo A					Cuerpos Receptores					Tipo C		
	Ríos con uso de riego agrícola; Acuifero	Aguas costeras con explotación pesquera, navegación y otros usos	Suelos con uso en riego agrícola	Tipo B					Tipo C				
				Ríos con uso público urbano; Acuiferos	Embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola	Embalses naturales y artificiales con uso en recreación	Estuarios	Humedales naturales				Ríos con uso en protección vida acuática; embalses naturales con uso público urbano; Acuiferos	
Grasas y Aceites	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	P.M 15	
Sólidos suspendidos Totales	150	150	N.A	75	75	75	75	75	75	75	75	40	
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	150	150	N.A	75	75	75	75	75	75	75	75	30	
Nitrógeno Total	40	N.A	N.A	40	40	N.A	15	N.A	15	N.A	N.A	15	
Fósforo Total	20	N.A	N.A	20	20	N.A	5.0	N.A	5.0	N.A	N.A	5	
Arsénico (*)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	
Cadmio (*)	0.2	0.1	0.05	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	
Cianuros (*)	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Cobre (*)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Cromo (*)	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	
Mercurio (*)	0.01	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.005	0.005	
Níquel (*)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Plomo (*)	0.5	0.2	5.0	0.2	0.5	0.5	0.2	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	
Zinc (*)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

(*) Medidos de manera total: N.A= No aplica; P.M.= Pmedio 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.

ANEXO 2

Para el estudio “Impacto ambiental de las aguas descargadas por los rastros en el estado de Yucatán”, se escogieron 5 rastros representativos de la zona.

El *rastró A* es un rastro municipal, en el que se sacrifican alrededor de 5 bovinos/día y 15 cerdos/día, aunque puede haber una gran variabilidad dependiendo de la demanda.

El rastro no cuenta con sistemas de recolección de subproductos. El contenido ruminal es recolectado en una caneca para luego ser botado a terrenos. La sangre es vertida a la fosa directamente. Los esquilmos son recolectados y llevados a terrenos aislados.

El agua utilizada en el rastro para el sacrificio de los animales y la limpieza de las instalaciones es alrededor de 228 litros/cerdo/día y de 200 litros/bovino/día, la cual proviene del agua potable del municipio. A esta agua no se le realizan pruebas bacteriológicas y físico-químicas para el control de calidad.

El rastro cuenta con sistema de tratamiento parcial y poco funcional. Consiste en dos fosas pequeñas; cuando una se llena la otra entra en servicio y así sucesivamente. El agua se filtra al manto freático. Al analizar las aguas residuales se cuantificó una alta carga de contaminantes.

El *rastró B* es un rastro privado, en donde se sacrifican alrededor de 80 bovinos/semana y 80 cerdos/semana, aunque puede haber una gran variabilidad dependiendo de la demanda. El rastro no cuenta con sistemas de recolección de subproductos. El contenido ruminal es recolectado en una caneca para luego ser botado a terrenos. La sangre es vertida a la fosa directamente. Los esquilmos son recolectados y llevados a terrenos aislados. El agua utilizada en el rastro para el sacrificio de los animales y la limpieza de las instalaciones es de alrededor de 150 litros/cerdo/día y de 211 litros/bovino/día, la cual proviene de un pozo de abastecimiento de una profundidad de más de 40 metros. Esta agua no es sometida a un proceso de purificación y no se le realizan pruebas bacteriológicas y físico-químicas para el control de calidad.

El rastro cuenta con sistema de tratamiento parcial y poco funcional. Consiste en dos cárcamos pequeños, uno para aguas rojas y el otro para aguas verdes, pasando luego el agua residual a una pequeña fosa. El agua residual que sale de este sistema es descargado en un pozo de aproximadamente 7 metros de profundidad para ser bombeado al monte posteriormente. Al analizar las aguas residuales se cuantificó una alta carga de contaminantes.

El *rastro C* es un rastro municipal candidato para acreditarse tipo TIF. En este rastro se sacrifican alrededor de 125 bovinos/día y 450 cerdos/día, aunque puede haber una gran variabilidad dependiendo de la demanda.

El rastro cuenta con sistemas de recolección de subproductos. El contenido ruminal es recolectado en una fosa y luego pasa por un separador de sólidos para posteriormente ser transportado en un camión al basurero municipal. La sangre, aunque cuenta con un sistema de recolección no siempre es recolectada y vendida, por lo tanto es vertida a la fosa directamente.

Los esquilmos son recolectados y llevados al basurero municipal. El agua utilizada en el rastro para el sacrificio de los animales y la limpieza de las instalaciones es de alrededor de 248 litros/cerdo/día y de 134 litros/bovino/día, la cual proviene de un pozo de abastecimiento de una profundidad de 60 metros. Esta agua antes de ser utilizada es sometida a un proceso de purificación con cloro y cada dos o tres meses se le realizan pruebas bacteriológicas y físico-químicas para control de calidad.

El rastro cuenta con sistema de tratamiento poco funcional, y consiste en dos fosas grandes, una para aguas rojas y la otra para aguas verdes, pasando luego el agua residual a dos fosas anaeróbicas. El agua residual que sale de este sistema es descargado en dos pozos profundos de aproximadamente 100 metros de profundidad cada uno. A pesar de que existe un sistema de tratamiento parcial, las aguas residuales presentan una alta carga de contaminantes.

El *rastro D* es un rastro privado. En este rastro se sacrifican alrededor de 700 pavos/día, aunque puede haber variabilidad, sacrificando en los meses de más demanda, como diciembre, alrededor de 1,000 pollos/día.

El rastro no cuenta con un sistemas de recolección de subproductos. La sangre es descargada al drenaje y las plumas se depositan en un terreno aledaño. El agua utilizada en el rastro para el sacrificio de los animales y la limpieza de las instalaciones es de alrededor de 29 litros/animal/día y proviene del agua potable. A esta agua, antes de ser utilizada, no se le realizan pruebas bacteriológicas y físico-químicas para el control de calidad.

El rastro cuenta con sistema de tratamiento el cual consiste en un pequeño cárcamo, una trampa para grasa y dos fosas anaeróbicas. El agua residual que sale del sistema de tratamiento es descargada en un pozo profundo. Los análisis realizados a las aguas descargadas muestran una muy baja carga de contaminantes

El *rastro E* es un rastro privado tipo TIF. En este rastro se sacrifican alrededor de 45,000 pollos/día, aunque puede haber variabilidad alcanzando en los meses de mayor demanda como diciembre alrededor de 70,000 pollos sacrificados/día.

El rastro cuenta con sistemas de recolección eficiente de subproductos. La sangre y las plumas se utilizan para hacer harinas de sangre y plumas respectivamente, dependiendo de la demanda. Muchas veces los animales o vísceras decomisadas al igual que los intestinos, las plumas y la sangre se juntan para preparar harina de pollo, la cual tiene un alto valor nutricional con respecto a otras harinas. Las grasas se venden a una empresa de cosméticos.

El agua utilizada en el rastro para el sacrificio de los animales y la limpieza de las instalaciones es de alrededor de 22 litros/animal/día, la cual proviene de dos pozos de abastecimiento de una profundidad de 60 metros. Esta agua antes de ser utilizada es sometida a un proceso de purificación con cloro y platea coloidal y quincenalmente se le realizan pruebas bacteriológicas y físico-químicas para el control de calidad.

El rastro cuenta con un sistema de tratamiento que consiste en un separador de sólidos, una trampa para grasa y olores, un digestor anaerobio (lodos activados), una laguna anaerobia y otra aerobia, además cuenta una plancha para secar lodos. El agua residual que sale del sistema de tratamiento es descargada en un pozo profundo de más de 100 metros.

Los análisis realizados a las aguas descargadas muestran una muy baja carga de contaminantes.