



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA

CONTEO DE ENTEROBACTERIAS, AISLAMIENTO DE  
*SALMONELLA SPP*, *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS* Y  
*ERYSIPELOTHRIX RHUSIOPATHIAE* EN LODOS,  
OBTENIDOS A PARTIR DE UN TRATAMIENTO DE  
FILTRACIÓN EN UNA GRANJA PORCINA A PEQUEÑA  
ESCALA.

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA

**RODRIGO ALEXANDRO CORONA DIAZ**

Asesores:

MVZ MCV. Gerardo Ramírez Hernández  
MVZ MCV. Rosario Esperanza Galván Pérez



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA**

CONTEO DE ENTEROBACTERIAS, AISLAMIENTO DE *SALMONELLA SPP*,  
*CLOSTRIDIUM PERFRINGENS* Y *ERYSIPELOTHRIX RHUSIOPATHIAE* EN  
LODOS, OBTENIDOS A PARTIR DE UN TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN  
UNA GRANJA PORCINA A PEQUEÑA ESCALA.

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA

**RODRIGO ALEXANDRO CORONA DÍAZ**

Asesores:

MCV. GERARDO RAMIREZ HERNANDEZ  
MCV. ROSARIO ESPERANZA GALVAN PEREZ

MÉXICO, D. F.

2008

## **DEDICATORIAS**

A mis padres Cecilio Corona Munive e Irma Díaz Olguín por apoyarme y ayudarme a cumplir y concretar mis metas.

A mis hermanos Cecilia Corona Díaz y Omar Corona Díaz por ser también mis amigos.

A mis familiares que me han apoyado y ayudado.

A mis amigos.

A todas las personas que estimo y a las que me quieren.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, de no ser por ellos tal vez no me encontraría donde estoy hoy.

A mis hermanos que siempre me han ayudado a ser mejor y me han apoyado en todo momento.

A mis amigos por ayudarme y por los buenos momentos que hemos pasado y seguiremos pasando juntos.

A mis familiares que me han apoyado y ayudado.

A mis asesores MCV. Gerardo Ramírez Hernández y MCV. Rosario Esperanza Galván Pérez por el tiempo dedicado y el apoyo que recibí de ellos no solo para realizar este trabajo sino también en muchos otros momentos.

A los compañeros que he ido conociendo a lo largo de mi vida.

A toda la gente que he tratado en la vida y que me ha enseñado algo.

A los miembros del Jurado: MVZ Rosa Elena Miranda Morales, MVZ Roberto Arnulfo Cervantes Olivares, MVZ Roberto Gustavo Martínez Gamba y MVZ Mario Enrique Haro tirado por dedicarle parte de su tiempo a la revisión y mejoramiento de este trabajo.

Al proyecto PAPIIT IN223903 “Sistema alternativo para el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales de granjas porcinas, propuesta para la contaminación ambiental”.

## CONTENIDO

ÍNDICE	PÁGINA
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>- Tratamientos de aguas residuales</b>	
1) Tratamientos previos	8
2) Tratamientos primarios	8
3) Tratamientos secundarios	10
4) Tratamientos terciarios	11
5) Tratamientos especiales	12
<b>- Lodos residuales</b>	
1) Propiedades físicas	14
2) Propiedades de fluido	15
3) Propiedades químicas	15
4) Propiedades biológicas	16
5) Cantidad y calidad de los lodos	17
<b>- Tratamientos para los lodos residuales</b>	
1) Espesamiento por gravedad	21
2) Digestión anaerobia	21
3) Digestión aerobia	22
4) Deshidratación por lechos de arena	22
5) Secado por calentamiento	22
6) Incineración	22
7) Filtración al vacío	23
8) Elutriación	23
9) Oxidación húmeda	23
10) Estabilización química	23
<b>- Disposición final de los lodos</b>	
Principales tratamientos	26
<b>- Enterobacterias</b>	<b>28</b>
<b>- <i>Salmonella</i> spp</b>	<b>29</b>
<b>- <i>Clostridium perfringens</i></b>	<b>29</b>
<b>- <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i></b>	<b>30</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>31</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>32</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>33</b>
<b>- Muestreo</b>	<b>35</b>
<b>- Conteo de Enterobacterias</b>	<b>36</b>
<b>- Aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i> spp</b>	<b>37</b>
<b>- Aislamiento e identificación de <i>Clostridium perfringens</i></b>	<b>39</b>
<b>- Aislamiento e identificación de <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i></b>	<b>40</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>42</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>43</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>46</b>

## LISTA DE CUADROS

## PÁGINA

1. Producción de excretas según el estado animal.	3
2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.	5
3. Género bacteriano y sus compuestos olorosos.	6
4. Composición química proximal y mineral de las excretas y guanos.	7
5. Tratamientos terciarios básicos.	12
6. Porcentaje de uso de lodos residuales en la Unión Europea.	13
7. Componentes de los lodos y el estiércol como fertilizante.	14
8. Concentración de contaminantes metálicos y orgánicos en lodos de desecho.	16
9. Principales microorganismos patógenos en agua residual doméstica y sus lodos.	17
10. Densidad de microorganismos patógenos en lodos.	18
11. Tiempo de sobrevivencia de los patógenos.	18
12. Comparación de las características físicas y microbiológicas de lodos crudos primarios de México y otros países.	20
13. Curvas comparativas para determinar la dosis mínima de cal (CaO) para producir biosólidos tipo B.	24
14. Ventajas y desventajas de los principales procesos de estabilización de lodos.	25
15. Conteo de enterobacterias UFC/ml por fase de tratamiento.	42
16. Aislamientos positivos de <i>Salmonella</i> spp.	42

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Sistema de tratamiento primario.	33
2. Separador de sólidos y líquidos de prensa.	34
3. Fosa de sedimentación aeróbica.	34
4. Medio filtrante de tezontle.	35
5. Muestreo realizado en los filtros.	36
6. Muestras con refrigerantes.	36
7. Dilución en tubos.	37
8. Toma de muestra a partir de los frascos con caldo selenito de sodio para su posterior sembrado.	38
9. Aislamiento de <i>Salmonella spp.</i> en medio verde brillante.	38
10. Identificación bacteriana a través de pruebas bioquímicas como Agar Hierro Tres Azucares (TSI), medio de SIM, Agar Citrato de Simmons y Urea.	38
11. Prueba de aglutinación para la tipificación de <i>Salmonella entérica</i> con el uso de antisueros.	39
12. Incubación en anaerobiosis utilizando sobres de sobres de Gas Pack.	40



## RESUMEN

**Corona Díaz Rodrigo Alexandro.** Conteo de enterobacterias, aislamiento de *Salmonella* spp, *Clostridium perfringens* y *Erysipelothrix rhusiopathiae* en lodos, obtenidos a partir de un tratamiento de filtración en una granja porcina a pequeña escala. Bajo la asesoría de MCV. Gerardo Ramírez Hernández y MC. Rosario Esperanza Galván Pérez.

Los objetivos del presente trabajo consistieron en realizar el conteo de enterobacterias (Ent), aislar e identificar *Cl. perfringens* (Cp), *E. rhusiopathiae* (Er) y *Salmonella* spp (Ss) en lodos obtenidos a partir de un proceso de tratamiento de filtración en una granja porcina a pequeña escala que cuenta con fosa de sedimentación y tres filtros de tezontle como material filtrante. El muestreo se realizó durante cinco semanas obteniendo así una muestra para cada punto de muestreo por cada semana. Los puntos de muestreo fueron los siguientes: Lodo de la fosa de sedimentación (LFS), Lodo obtenido del primer filtro (LF1), Lodo obtenido del segundo filtro (LF2) y finalmente lodo obtenido del tercer filtro (LF3). El conteo de enterobacterias en LFS fue de  $7.4 \times 10^5$ , LF1  $4.76 \times 10^5$ , LF2  $9.28 \times 10^5$ , LF3  $2.84 \times 10^5$ , no hubo diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ). En lo que respecta al aislamiento de *Salmonella* spp, se logró en una muestra del F2 (5%) y en tres muestras (15%) de F3. No se logró el aislamiento de *Clostridium perfringens* y *Erysipelothrix rhusiopathiae*. Por lo que se concluye que al no existir diferencia estadística en relación a la disminución de enterobacterias, ni de *Salmonella* spp contenida en los lodos de tres diferentes etapas del proceso que integran el sistema de filtración del agua proveniente de la granja en cuestión, es necesario que este material reciba un tratamiento antes de su disposición final.

## INTRODUCCIÓN

La mayor cantidad de carne que se produce en el mundo es la de porcino con 100.8 millones de toneladas, seguida de la de ave con 59.52 y la de bovino con 52.64; México se ubica en el lugar número 18 del ámbito mundial y es el segundo productor de Latinoamérica. <sup>1</sup>

Para el 2001, la producción de carne porcina en el país mostró un crecimiento del 11 %, con lo cual se situó su oferta en 1, 143 580 toneladas de carne, la cual representa el 26% del total de carne producida,<sup>1</sup> permitiendo calcular la disponibilidad *per cápita* de carne de cerdo en aproximadamente 12 kg por año. Por tanto, la porcicultura debe considerarse como una actividad relevante en el sector pecuario nacional con un inventario de 18.8 millones de cabezas, ocupando después de la cría de bovinos y aves, el tercer lugar en importancia nacional. <sup>2</sup>

Sin embargo esta situación ha traído como consecuencia la generación de grandes cantidades de excretas en regiones del país que presentan una alta densidad de población porcina, ya que la porcicultura en México independientemente de ser practicada en todo el país, muestra una gran concentración en algunas entidades. <sup>1</sup> El estiércol esta compuesto por 2/3 orina (95% humedad) y un 1/3 de heces (75.8% de humedad), produciendo así aguas residuales que equivalen a 40-50L/animal/día según su etapa productiva (**cuadro 1**), además de gases como amoniaco y sulfuro de hidrógeno <sup>3</sup>. Todo esto es producido en áreas pequeñas de terreno por lo que su distribución y descarga han acarreado problemas de contaminación ambiental. <sup>4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11</sup>

**Cuadro 1.** Producción de excretas según etapa productiva animal.

Etapa productiva animal	Peso (kg)	Producción Excretas (Lt/día)	Sólidos totales (kg/día)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (kg/día)	Sólidos volátiles (kg/día)	Nitrógeno (kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Cría	16	1	0.09	0.08	0.08	0.01	0.01	0.01
Recría	29	1.8	0.18	0.14	0.14	0.01	0.01	0.01
Engorda	68	4.3	0.41	0.33	0.33	0.33	0.02	0.02
Gestación	125	4.2	0.37	0.30	0.30	0.03	0.02	0.02
Maternidad con cría	170	15.1	1.36	1.09	1.09	0.10	0.08	0.08
Verraco	159	5.3	0.45	0.38	0.38	0.04	0.03	0.03

Fuente: <http://www.purdue.edu/dp/envirosoft/manure/src/main.htm> (2007) <sup>25</sup>

Sin embargo, en México sólo hay dos estudios que han abordado el impacto de las aguas residuales de las granjas porcinas. El primero fue una encuesta realizada en 221 granjas de las 500 afiliadas al Consejo Mexicano de Porcicultura en 10 estados del país en el año de 1994 y el segundo es un trabajo académico circunscrito al estado de Yucatán, cuyo objetivo fue estudiar los aspectos económico-ambientales de los desechos porcinos. Entre los resultados que arrojaron estos estudios se puede destacar lo siguiente:

- a) Debido a la gratuidad del agua para las actividades agropecuarias, los porcicultores, ignoran la cantidad de agua que utilizan en la granja, hacen uso ineficiente de la misma.
- b) El 30% de las granjas usaban el agua residual para riego agrícola y el 38% descargaba a drenaje público o a cuerpos de agua propiedad de la nación.
- c) La mayoría de las granjas (86%) contaban con algún tipo de tratamiento, por lo general un foso colector y lagunas de estabilización; cabe señalar que las dimensiones de estas instalaciones no eran las adecuadas para el tamaño de la

explotación. El 14% de las granjas descargaba agua residual sin tratar a cuerpos receptores de agua.

d) El 23% utilizaban las excretas en la alimentación de rumiantes y sólo el 3% la reciclaba en la granja.

e) Sólo una (0.45%) tenía un sistema de tratamiento completo: fosa, separador, digestores, separación química y clarificador. <sup>11</sup>

Las excretas porcinas contienen compuestos que pueden ser considerados como contaminantes como son: la materia orgánica biodegradable que constituye hasta el 55% de su composición, bacterias, nitrógeno y minerales como fósforo, cobre, zinc y arsénico. <sup>3, 12, 13, 14</sup> es así que tanto los efluentes líquidos como la fracción sólida del agua de desecho, pueden contener gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden afectar tanto al hombre, como al cerdo. Algunos ejemplos son *Salmonella spp*, *E. coli* enterotoxigenica, *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Brachyspira hyodysenteriae* y *Clostridium spp*, algunos de los cuales pueden sobrevivir por largos periodos de almacenamiento. <sup>15, 16, 17</sup>

Esta preocupación ha propiciado cambios en las instalaciones para cerdos y en los sistemas de manejo de residuales <sup>12</sup> así como en la elaboración de normas que regulen esta contaminación, como la NOM-004-SEMARNAT-2002, de protección ambiental en lo que se refiere a lodos y biosólidos, estableciendo especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (**cuadro 2**). <sup>18</sup>

**Cuadro 2.** Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Clase	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Patógenos <i>Salmonella</i> spp. NMP/g en base seca.	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 3	Menor de 35

Fuente NOM-004-SEMARNAT-2002<sup>18</sup>

NMP = número más probable

A.- Es de tipo excelente, se aprovecha para usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación, también se les pueden dar usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas.

B.- Es de tipo excelente o bueno, se aprovecha para usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación de igual manera pueden dar usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas.

C.- Es de tipo excelente o bueno, se aprovecha para usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas.

En la actualidad se han implementado diversos tratamientos para las aguas residuales porcinas como el tratamiento previo, tratamiento primario, tratamiento terciario, tratamientos especiales y tratamientos específicos para los lodos resultantes del tratamiento de estas. Dentro de estos se tiene el primario que consiste en una separación de los desechos dando como resultado una fracción sólida con cierto porcentaje de humedad y una fracción líquida. Respecto a la fracción sólida, se han realizado estudios bacteriológicos para determinar la presencia de agentes bacterianos; se ha utilizado el ensilaje y la composta para disminuirlos.<sup>19</sup> En la fracción líquida se ha determinado la presencia de enterobacterias y anaerobios, hay estudios del impacto que tiene sobre la carga bacteriana el tratamiento de filtración<sup>20</sup> y también existen estudios donde utilizaron este líquido como agua de bebida en cerdos destetados y observaron que no existía ningún efecto sobre su salud o repercusión en la conversión alimenticia y ganancia diaria de peso.<sup>21</sup> Otro elemento importante que se obtiene son los lodos

que es el termino que se aplica para designar a los sólidos que se sedimentan cuando las aguas residuales pasan por los tanques de sedimentación y también los que se quedan en los filtros, los cuales llegan a taparse forzando a su limpieza con la misma agua contenida en el sistema de tratamiento. Lo anterior es importante ya que una gran parte de los porcicultores en México utiliza el tratamiento primario, donde la fracción líquida y los lodos se descargan directamente a los cultivos o son enviadas a ríos o lagos desconociendo el tipo y la carga de patógenos que contienen, con el riesgo de transmitirlo a otras poblaciones animales y humanas (**cuadro 3**). De ahí la necesidad de evaluar cual es el contenido de bacterias mediante el conteo de enterobacterias y el aislamiento de *Salmonella spp.*, *Clostridium perfringens* y *Erysipelothrix rhusiopathiae* de los lodos eliminados mediante un tratamiento primario como es la filtración.

**Cuadro 3.** Género bacteriano y sus compuestos olorosos.

Género bacteriano	Temperatura (C°)	Tolerancia al Oxígeno	pH	Compuestos olorosos potenciales
<i>Streptococcus</i> spp	37	—	4.0- 9.6	1, 2, 3, 4, 5.
<i>Eubacterium</i> spp	20-45	No	6.5-7.5	1, 2, 3, 4, 6.
<i>Lactobacilli</i> spp	2-53	-	4.5-6.4	1,2, 3, 4.
<i>Escherichia coli</i>	37	-	4.4-9.0	1, 2, 3, 4
<i>Clostridium</i> spp	15-69	No	6.5-7.5	1, 2, 3, 4, 6.

Fuente: Zhu y Jacobson; 1999<sup>22</sup>

- 1.-Acido fórmico
- 2.-Acido acético
- 3.-Acido propiónico
- 4.-Acido butírico
- 5.- Amoniaco y aminas volátiles
- 6.- Indoles y fenoles

En el caso del agua residual de las industrias y en específico de las explotaciones porcinas es necesario darles un tratamiento, teniendo como objetivos particulares:

- Cumplir con la normativa nacional aplicable.
- Adecuar la utilización a las necesidades estacionales de los cultivos.
- Transportarlo fuera de la zona de aplicación del plan de gestión.
- Valoración agronómica y económica del residuo.
- Higienizar reduciendo o eliminando patógenos. <sup>22</sup>

Con la finalidad de disminuir problemas de manejo y cumplir con lo antes mencionado, se han establecido procesos que permiten el tratamiento y reciclaje de las excretas, algunos para su utilización como ingrediente alimenticio (**cuadro 4**), mejorando sus propiedades nutricionales y de manejo.

**Cuadro 4.** Composición química proximal y mineral de las excretas y los sólidos prensados denominados guanos

<b>Composición química proximal y mineral</b>	<b>Pre-prensado (Excretas) (%)</b>	<b>Presado (Guanos) (%)</b>
Materia seca	16.6+- 1.9 (11.1)	35.9 +- 6.2 (17.4)
Proteína cruda	11.0 +- 1.9 (17.2)	7.5+-1.5 (19.6)
Fibra cruda	25.5 +- 3.7 (14.5)	31.6+-7.2 (22.9)
Extracto etéreo	4.5+- 1.6 (34.2)	4.7+-1.6 (34.3)
Extracto no nitrogenado	52.3+-6.5 (12.5)	52.5 12.3
Ceniza	6.3+- 2.2 (34.2)	4.7+-1.6 (34.3)
Calcio	1.5+-0.6 (40.0)	1.4+-0.5 (35.6)
Fósforo	0.5+-0.3 (70.1)	0.4+-0.2 (49.9)

Fuente: Egaña (1989); Díaz y Egaña (1996)

Los tratamientos para las aguas residuales que se dividen por el orden en que se van dando y son:

### **1) Tratamientos previos**

Es necesario eliminar las partículas más grandes para facilitar así el funcionamiento de los sistemas siguientes y evitar el deterioro de las instalaciones de la planta de tratamiento, esto se lleva a cabo principalmente en donde se generan sólidos de tamaño considerable

1.1) - Cribado. Consiste en pasar el agua residual a través de cribas y rejas que retendrán los gruesos que serán retirados posteriormente

1.2) - Dileración. Este proceso se basa en trocear y partir los gruesos, reduciendo su tamaño a dimensiones adecuadas para su posterior tratamiento

1.3) - Desarenado. Sirve para remover los sólidos inorgánicos pesados; el material que se elimina puede dañar las partes mecánicas de la planta de tratamiento. Operan bajo el principio de sedimentación debido a la reducción de la velocidad del flujo.

### **2) Tratamientos primarios**

Es la fase siguiente a los tratamientos previos y corresponde a la separación de las materias en suspensión que transporta el agua residual.

2.1) - Sedimentación, sedimentación – floculación. Es un proceso físico de separación de sólidos. Las unidades de sedimentación tiene función dual: la remoción de sólidos sedimentables y la concentración de los sólidos removidos en un volumen más pequeño de lodo. Durante la sedimentación es



posible clasificar las moléculas en discretas y floculantes. Las partículas discretas son las que no cambian con el tiempo en tamaño, forma y gravedad, estas generalmente se eliminan en los desarenadores y en la sedimentación primaria. Las partículas floculantes son aquellas que por sus propiedades de superficie se agregan o se colapsan con otras al estar en contacto, de manera que cambian de tamaño, forma y gravedad específica con cada contacto. Un sedimentador especial es el clarificador por contacto de sólidos o de “lecho de lodos” que, además de la sedimentación, emplea la filtración como mecanismo de eliminación ya que al pasar el agua a través de los lodos retenidos, se eliminan sólidos suspendidos de menor tamaño

2.2) - Flotación. Cuando las partículas son muy pequeñas y de una densidad cercana a la del agua, la flotación se emplea para removerlas en los desarenadores. El proceso requiere que se añada un agente de flotación, que normalmente son finas burbujas que se adhieren a las partículas suspendidas y actúan como medio de transporte a la superficie donde son removidas en forma de nata.

2.3) - Filtración. Es un proceso físico - químico que separa los sólidos y la materia coloidal de la parte líquida por medio de un material poroso, el agua llena los poros de este material, y las impurezas son detenidas por adhesión. Para mantener su rendimiento óptimo el filtro debe ser lavado periódicamente para lo cual es necesario un mayor volumen de agua y el paro momentáneo del proceso.

2.4) - Neutralización. Es frecuente que el pH del agua residual no sea adecuado para un tratamiento posterior o que simplemente no cumpla con la

legislación. En este caso se hace necesaria la adición de agentes ácidos o alcalinos según sea el pH que corresponda.

### **3) Tratamientos secundarios**

En esta fase se incluyen los tratamientos orientados a la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y son básicamente biológicos. En este tipo de tratamientos las bacterias y otros microorganismos destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales. Al final se liberan productos de bajo peso molecular, este proceso puede realizarse por vía aerobia o anaerobia.

#### **3.1) Sistemas aerobios:**

3.1.1) - Lagunas de estabilización. Consisten en la instalación de una o varias lagunas para realizar una aireación prolongada, con tiempos de retención largos, unida a la acción de algas y microorganismos.

3.1.2) - Lagunas aireadas. Son lagunas de estabilización de menor superficie, que disponen de instalaciones de aireación artificial.

3.1.3) - Filtros biológicos o lechos bacterianos. Se basan en el paso del agua residual a través de materiales con gran superficie, como piedras, plásticos etc., que se recubren de una zooglea o película de microorganismos aerobios que van consumiendo la materia orgánica contenida en el agua residual, que se distribuye en ellos por aspersion.

3.1.4) - Lodos activos. Se trata de un sistema en el cual el agua residual se lleva a un reactor, en el que se pone en contacto con biomasa (presente en lodos activos) y con oxígeno disuelto de forma que al agitarse artificialmente y

estar la biomasa en suspensión, gran parte de los contaminantes orgánicos al cabo de un tiempo se han consumido. El líquido se lleva a un decantador secundario y ahí se separa del lodo.

3.1.5) - Biodiscos. El sistema consiste en un cilindro de plástico de gran tamaño y superficie que gira alrededor de un eje horizontal y está sumergido parcialmente en el agua residual a tratar. Sobre su superficie se desarrollan colonias de bacterias y otros microorganismos formando una película similar a la que recubre la superficie de los filtros biológicos. Al girar, parte del cilindro se expone al aire para recibir el aporte necesario de oxígeno, que se puede forzar o no con aire a presión.

3.2) Sistemas anaerobios: Es frecuente que las aguas residuales tengan una carga orgánica elevada en cuyo caso pudiera ser de utilidad el uso de sistemas anaerobios, comúnmente llamados digestores. El sistema se basa en la instalación de un reactor anaerobio, cerrado, en el que la materia orgánica se transforma en ácidos volátiles y finalmente en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano.

#### **4) Tratamientos terciarios**

Cuando se necesita que los vertidos resultantes de los tratamientos secundarios cumplan con determinadas especificaciones, se lleva a cabo alguno de los tratamientos terciarios que son mencionados en el cuadro 5, el problema de estos tratamientos es casi siempre de tipo económico, debido a los altos costos de inversión que implica la instalación de los equipos así como en el mantenimiento de estos sistemas de tratamiento.

### **Cuadro 5.** Tratamientos terciarios básicos.

<b>Tratamiento</b>	<b>Sistema</b>
Filtración	Arena Grava Antracita Mixto
Adsorción	Por contacto - Carbón activo Por percolación - Gel de sílice - Alúmina - Resinas orgánicas
Oxidación	Ozono
Osmosis inversa	Membranas y presión
Eliminación de nutrientes	Sistemas biológicos Coloración Intercambio iónico Arrastre con aire Precipitación química

Fuente: Seoáñez CM<sup>25</sup>

### **5) Tratamientos especiales**

Estos procedimientos se utilizan en casos concretos debido a que se enfocan a contaminantes muy específicos como son:

- Coagulación de compuestos orgánicos
- Eliminación de metales pesados
  - Precipitación alcalina.
  - Reducción – precipitación.
  - Intercambio iónico.
  - Adsorción con carbón activo.
  - Osmosis inversa.
  - Oxidación – reducción en medio ácido.
  - Oxidación en medio alcalino.<sup>23</sup>

## Lodos residuales

Cualquiera de los principales sistemas de tratamiento de agua produce lodos como parte de sus subproductos, provenientes ya sea de los sólidos que originalmente contenía el agua a tratar o por formación de nuevos como resultado de la transformación de los sólidos disueltos y coloidales. En los lodos se concentran los contaminantes extraídos y si son regresados al medioambiente no deben alterar los ecosistemas.<sup>22</sup>

Por su origen los lodos reciben el nombre de primarios o secundarios y por su estado de tratamiento se denominan crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos.<sup>24</sup>

Se denomina lodo doméstico al generado en plantas de tratamiento domésticas o municipales y cuando han sido tratados ya sea a través de estabilización o digestión se les denominan biosólidos, estos pueden ser utilizados como mejoradores del suelo, a los lodos residuales se les pueden dar diferentes usos (**cuadro 6**).

**Cuadro 6.** Porcentaje de uso de lodos residuales en la Unión Europea

<b>País</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Relleno sanitario</b>	<b>Incineración</b>	<b>Vertido al mar</b>
Alemania	25	65	10	0
Bélgica	57	43	0	0
Dinamarca	43	29	28	0
España	61	10	0	29
Francia	27	53	20	0
Grecia	10	90	0	0
Inglaterra	51	16	5	28
Irlanda	23	34	43	0
Italia	34	55	11	0
Luxemburgo	80	20	0	0
Holanda	53	29	10	8
Portugal	80	12	0	8

Fuente: IAWQ 1995<sup>23</sup>

Los lodos obtenidos durante el tratamiento del agua contienen algunos elementos que pueden ser esenciales para los vegetales (**Cuadro 7**).

**Cuadro 7.** Componentes de los lodos y el estiércol como fertilizante.

<b>Parámetro (%)</b>	<b>Lodos</b>	<b>Estiércol</b>
Carbono	33.5	36.2
Nitrógeno total	3.9	2.2
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	5.7	1.3
Potasio (K <sub>2</sub> O)	0.48	2.8
Calcio	4.9	2.6
Magnesio	0.54	0.7
Sodio	0.54	0.3
Azufre	1.1	-
Bario	0.002	-
Hierro	1.1	-

Fuente: Pommel 1979<sup>23</sup>

Según su procedencia, los lodos pueden tener diferentes propiedades: físicas, de fluido, químicas y biológicas.

### **1) Propiedades físicas**

1.1) - Concentración de sólidos: Expresa la relación del peso de sólidos y el peso de la muestra.

concentración de sólidos = peso de sólidos secos/peso de la muestra

El resultado se multiplica por 100 y se denomina “porcentaje de sólidos” y es la forma más usual de expresar la concentración de sólidos

1.2) - Tamaño de partícula: afecta directamente al secado del lodo

1.3) - Forma en la que se encuentra el agua:

- Agua libre
- Agua en floculo

- Agua capilar
- Agua de las partículas

## **2) Propiedades de fluido**

- 2.1) - Lodos líquidos, fluyen por gravedad.
- 2.2) - Lodos plásticos, pueden ser bombeados.
- 2.3) - Lodos sólidos susceptibles compactados, no se pueden bombear pero su volumen decrece a medida que se secan.
- 2.4) - Lodos con volumen constante, no decrece su volumen al perder agua
- 2.5) - Características de fluidez. Los lodos se clasifican como fluidos no-Newtonianos y pseudoplásticos, es decir, se comportan como un sólido elástico.
- 2.6) - Drenabilidad: para eliminar el agua de los lodos se emplean 3 procesos básicos, filtración, centrifugación y evaporación

## **3) Propiedades Químicas**

Estas definen las necesidades de tratamiento, las condiciones para su disposición final y su posible utilización; en general la naturaleza química de los lodos no ha sido bien caracterizada, debido a su diversidad y a que la mayoría de las publicaciones se refieren a la fracción líquida.

3.1- Olor. Para medirlo se emplea un olfatómetro. El olor se debe principalmente a la presencia de ácido sulfhídrico.

3.2- Composición química. Los elementos químicos contaminantes del influente pasan a formar parte de los lodos ya sea por precipitación en forma de sulfuros, óxidos, bicarbonatos, por absorción, por quelación con compuestos orgánicos o por partición entre la fase sólida y líquida durante el proceso de separación de

sólidos. Se distinguen 5 grupos: metales y cianuros, compuestos orgánicos volátiles, compuestos orgánicos semivolátiles, plaguicidas, bifenilos policlorados (BPCs) y otros (**cuadro 8**).

**Cuadro 8.** Concentración de contaminantes metálicos y orgánicos en lodos de desecho.

<b>Contaminante</b>	<b>Concentración mg/kg (base seca )</b>
Cadmio (Cd)	11.2
Cromo (Cr)	248
Cobre (Cu)	411
Plomo (Pb)	266
Níquel (Ni)	70
Zinc (Zn)	980
Mercurio (Hg)	1.7
Benzideno	0.281
Benzo(a)pireno	0.001
Bis(2-etilhexil)ftalato	105
Dimetilnitrosamina	0.281
Hexaclorobenzeno	0.040
Hexaclorobutadieno	0.112
Benceno	0.336
Tetracloruro de carbono	0.000006
Cloroformo	0.026
Tetracloroetileno	0.150
Tricloroetileno	0.529
Cloruro de vinilo	0.000076
BPCs	0.034

Fuente: Adaptado de Lue-Hing et, la, 1992<sup>23</sup>

#### **4) Propiedades Biológicas**

La presencia de patógenos es una de las propiedades más importantes que han limitado su manejo debido a la problemática sanitaria que puede acarrear. Esto depende de la naturaleza de los constituyentes orgánicos, la concentración de nutrientes, los factores de crecimiento, y la toxicidad de los materiales. El tipo y cantidad de microorganismos patógenos depende básicamente del estado



epidemiológico de la comunidad de donde provienen. Estos patógenos mueren en tiempos variables al ser expuesto el lodo a factores medio ambientales como: calor, luz solar y desecación. El control de riesgo de elementos patógenos se efectúa basándose en las bacterias, virus y huevos de helmintos (**cuadro 9**).

**Cuadro 9.** Principales microorganismos patógenos en agua residual doméstica y sus lodos.

<b>Microorganismo</b>	<b>Enfermedad / Síntomas</b>
<b>Virus entéricos</b>	
Hepatitis A virus	Hepatitis infecciosa
Norwalk y tipo Norwalk	Gastroenteritis epidémica con diarrea severa
Rotavirus	Gastroenteritis aguda con diarrea severa
Enterovirus	
Poliovirus	Poliomielitis
Coxsackievirus	Meningitis, neumonía, hepatitis, fiebre, etc.
Echovirus	Meningitis, encefalitis síntomas de catarro, diarrea, etc.
Reovirus	Infecciones respiratorias, gastroenteritis
Calicivirus	Gastroenteritis epidémica
<b>Bacterias</b>	
<i>Salmonella</i> spp	Salmonelosis y fiebre tifoidea
<i>Shigella</i> spp	Disentería bacilar
<i>Yersinia</i> spp	Gastroenteritis aguda (con diarrea y dolor abdominal)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<i>Escherichia coli</i> (cepas patógenas)	Gastroenteritis
<b>Protozoarios</b>	
<i>Criptosporidium</i>	Gastroenteritis
<i>Entamoeba histolítica</i>	Enteritis aguda
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis (diarrea, calambres abdominales, pérdida de peso)
<i>Balantidium coli</i>	Diarrea y disentería
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis
<b>Helmintos</b>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Alteraciones digestivas y nutritivas dolor abdominal, vómito
<i>Ascaris suum</i>	Tos, dolor de pecho y fiebre
<i>Trichuris trichiura</i>	Dolor abdominal, diarrea, anemia y pérdida de peso
<i>Taenia saginata</i>	Anorexia dolor abdominal
<i>Necator americanus</i>	Anquilostomias
<i>Hymenolepis nana</i>	

Fuente: EPA, 1992 <sup>23</sup>

La densidad de patógenos, es el número de microorganismos por unidad de masa de los sólidos totales en base seca. Los criterios de calidad se expresan por

4 g de sólidos totales debido a que 100 ml de lodo doméstico contienen aproximadamente esta cantidad (**cuadro 10**).

**Cuadro 10.** Densidad de microorganismos patógenos en lodos.

Organismo	Densidad microorganismos/g base seca
Coliformes Totales	$7 \times 10^8$
Coliformes Fecales	$8.3 \times 10^6$
Streptococos fecales	$1.7 \times 10^6$
<i>Salmonella</i> spp	$8.8 \times 10^2$
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	$1.1 \times 10^4$
Virus entericos	$3.2 \times 10^2$
<i>Ascaris</i> spp	1.36
<i>Trichuris tricurria</i>	$< 1 \times 10^{-2}$
<i>Trichuris vulpis</i>	$< 1 \times 10^{-2}$
<i>Himenolipis diminuta</i>	$2 \times 10^{-2}$
<i>Toxocara</i> spp	$< 2.8 \times 10^{-1}$

Fuente: Metcalf y Eddy 1991<sup>23</sup>

Diferentes datos indican que muchos agentes patógenos pueden sobrevivir en el suelo, en vegetales y en estanques durante tiempos suficientes como para plantear riesgos potenciales (**cuadro 11**). La supervivencia de los agentes patógenos en la superficie de los vegetales es mucho más breve que en el suelo, dado que se encuentran más protegidos de la luz del sol y de la desecación. En algunos casos, sin embargo, el tiempo de supervivencia puede prolongarse lo bastante como para plantear riesgos, especialmente cuando ese periodo supera la duración del ciclo de crecimiento de los cultivos lo cual podría darse en algunas hortalizas.<sup>25</sup>

**Cuadro 11.** Tiempo de sobrevivencia de los patógenos

<b>Microorganismo</b>	<b>Máximo absoluto en el suelo</b>	<b>Máximo común en suelo</b>	<b>Máximo absoluto en vegetación</b>	<b>Máximo común en vegetación</b>
Bacterias	1 año	2 meses	6 meses	1 mes
Virus	1 año	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes protozoarios	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

Los periodos pueden cambiar dependiendo de las condiciones medioambientales

Fuente: EPA 1992<sup>23</sup>

Las formas de exposición a los patógenos de los lodos pueden ser directas o indirectas. La exposición directa se da cuando al momento de aplicarlos al suelo hay contacto con ellos ya sea por manipulación o por contacto con los aerosoles formados. La exposición indirecta se da a través de cultivos contaminados, leche u otros productos provenientes de animales que pastaron en tierras contaminadas por lodos, agua contaminada por lixiviación o peces desarrollados en aguas contaminadas.

## **5) Cantidad y calidad de los lodos**

5.1) La cantidad de los lodos producidos por un sistema de tratamiento depende de su naturaleza y decrece en el siguiente orden: procesos físico-químicos, sistemas biológicos aeróbicos y por último sistemas biológicos anaeróbicos. En relación con los biológicos los procesos físico-químicos producen mayor cantidad de lodo (20% a 100%) debido al uso de algunos reactivos.

5.2) La calidad de los lodos se relaciona con el grado de tratamiento dado al agua. Los lodos provenientes de un sedimentador primario están constituidos por sólidos orgánicos, la mayor parte de las partículas coloidales orgánicas y la fracción suspendida de la DBO del influente, la consistencia de estos es granular

y con mayor contenido de sólidos que los provenientes del sedimentador secundario y los provenientes de este contienen sólidos biológicos que dependen del factor de conversión de la biomasa y de la fase de la curva de crecimiento bajo la cual opere el tratamiento secundario biológico. Por ejemplo, los lodos provenientes de filtros percoladores o de biodiscos son mejores en términos de su naturaleza y son más consolidados que los lodos provenientes de las unidades de lodos activados, las lagunas de oxidación, de aireación extendida o de lagunas facultativas. Además tiene mayor contenido de Nitrógeno y Fosforo que los lodos primarios y fisicoquímicos (**Cuadro 12**).

**Cuadro 12.** Comparación de las características físicas y microbiológicas de lodos crudos primarios de México y otros países.

Procedencia del Lodo	Sólidos totales (%)	Sólidos volátiles (%)	Sólidos fijos (%)	Coliformes Fecales (NMP/g ST)	Salmonella spp (NMP/g ST)	Huevos de Helminto (HH/g ST)
Gran canal CD de México	5.8	42.8	47.2	$5.5 \times 10^7$	$8.8 \times 10^6$	36
Drenaje profundo CD de México (1ª. Etapa)	5.2	58.3	41.4	$3.0831 \times 10^{11}$	$3.417 \times 10^{10}$	150
Drenaje profundo CD de México (2ª. Etapa)	2.99	31.5	68.5	$4.16 \times 10^8$	$2.00 \times 10^7$	NR
Drenaje profundo CD de México (3ª. Etapa)	3.65	53.19	45.64	$6.94 \times 10^{10}$	$5.45 \times 10^8$	59
Planta Caribe 2000 (Cancún)	2.23	65.35	34.65	$1.3 \times 10^9$	----	----
Lodos biológicos (Guadalajara)	0.53	49.73	51.37	$4.13 \times 10^7$	$1.21 \times 10^6$	120
Lodos fisicoquímicos (Guadalajara)	2.48	39.6	60.39	$3.8 \times 10^{10}$	$7.03 \times 10^8$	160
España	51.7	----	-----	-----	----	----

Fuente: a Metcalf y Hedí, 1991; Llagostera y Caus, 1997 y Jiménez, 1998<sup>23</sup>

## **TRATAMIENTOS PARA LODOS RESIDUALES**

Como pasa con la porción líquida de las aguas residuales, también debe disponerse de los sólidos contenidos en los lodos. Los lodos deben someterse en general, a un tratamiento que sea capaz de modificar sus características para que pueda disponerse de ellos sin causar peligros a la salud o molestias al entorno como malos olores.

Los lodos se tratan para facilitar su disposición. Los diversos procesos de tratamiento tienen dos objetivos. 1) Disminuir el volumen de material que va a ser manejado, por la eliminación de parte o de toda la fracción líquida y 2) Descomponer la materia orgánica que es sumamente putrescible a compuestos orgánicos e inorgánicos relativamente estables e inertes de los cuales puede separarse el agua con mayor facilidad.<sup>24</sup>

Los costos de las instalaciones para el tratamiento de lodos puede llegar a ser de hasta el 50% del costo total de la planta de tratamiento, por lo que es muy importante elegir el método más correcto y conveniente, según el lodo que se este obteniendo en la planta, para ello existen varios métodos como son:

### **1) Espesamiento de lodos por gravedad**

El objetivo es duplicar el contenido de sólidos de los lodos y por consiguiente bajar a la mitad su volumen. Se lleva a cabo en tanques más profundos que los clarificadores para garantizar una mayor capacidad de espesamiento.

### **2) Digestión anaerobia**

Se utiliza principalmente para lodos con altas concentraciones de materia orgánica, ya que si se les diera tratamiento en condiciones aerobias se induciría

un rápido crecimiento de microorganismos y un alto consumo de oxígeno. La función es convertir los lodos en productos finales como líquidos y gases y tener la menor producción posible de microorganismos, de los gases producidos entre un 65 y 70 % es metano y un 25 a 30 % es dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### **3) Digestión aerobia**

Es una continuación del proceso de aeración tomando los subproductos del sedimentador y del espesamiento. Los lodos procesados por digestión aerobia están mineralizados por la respiración endógena y por el metabolismo bacteriano. Son relativamente inertes pero contienen gran cantidad de agua. La reducción del contenido de humedad se logra por centrifugado, filtración al vacío, secado por aire o secado en lechos de lodos.

### **4) Deshidratación por lechos secadores de arena**

Aún en el mejor de los casos, los lodos mas concentrados del digestor, contienen demasiada agua como para disponer satisfactoriamente de ellos. El lecho secador de arena es un dispositivo que elimina una cantidad de agua suficiente para que el resto pueda manejarse como material sólido con un contenido de humedad inferior al 70%, este tratamiento resulta de la combinación de 2 factores: drenaje y evaporación. <sup>24</sup>

### **5) Secado por calentamiento**

Cuando los lodos van a servir para la fabricación de fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuir hasta cerca del 10%. Si los lodos van a ser incinerados deben secarse hasta el punto en que puedan encenderse y quemarse y es aquí donde se utiliza el secado por calentamiento. <sup>24</sup>

### **6) Incineración**

La incineración de los lodos se considera muy comúnmente como un método para la disposición final de estos, sin embargo se incluye en el tratamiento de los lodos porque el producto final son cenizas, que posteriormente se deben eliminar.<sup>24</sup>

### **7) Filtración al vacío**

El filtro que se emplea para eliminar el agua de los lodos, consta de un tambor sobre el cual descansa el medio filtrante, las válvulas y la tubería están dispuestas de manera que, a medida que el tambor gira lentamente aplicando el vacío en el interior del medio filtrante, va extrayendo el agua de los lodos y manteniendo el lodo adherido a él.<sup>24</sup>

### **8) Elutriación**

La palabra elutriación significa purificar por lavado. En el tratamiento de lodos significa extraer de los lodos, por medio de agua o de efluentes de plantas de tratamiento, los compuestos amínicos o amoniacales que se encuentren en cantidades excesivas para disminuir la demanda de coagulante. Por lo tanto se usa como un pretratamiento antes de la coagulación con productos químicos. El proceso se lleva a cabo en tanques similares a los de sedimentación, generalmente por pares en los que los lodos y el agua de lavado entran por extremos opuestos.<sup>24</sup>

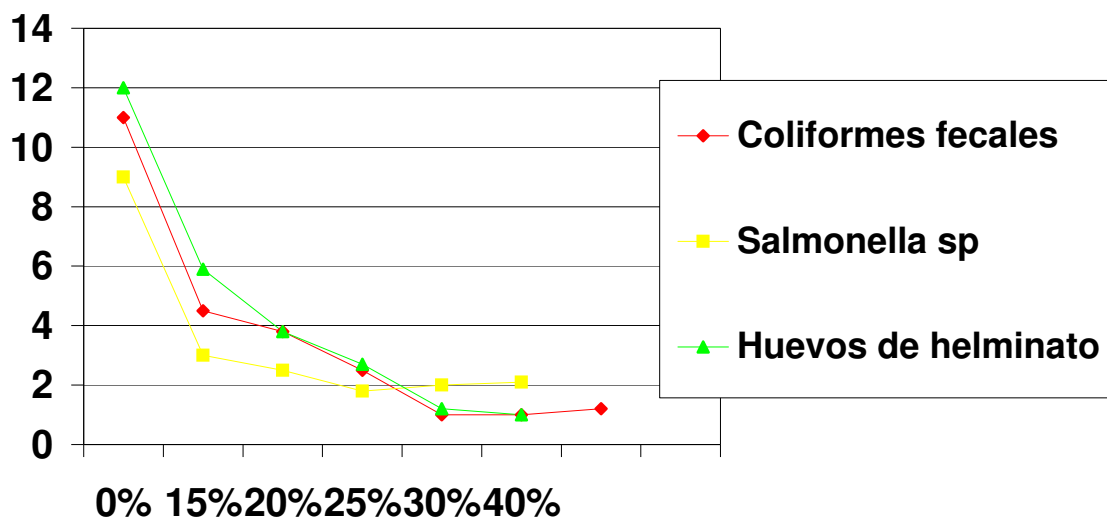
### **9) Oxidación húmeda**

Este es un proceso complejo en el que la materia orgánica de los lodos es oxidada hasta cenizas a través de cambios de presión y temperaturas, generando un efluente en el cual se encuentran disueltas las cenizas, las cuales pueden ser separadas por un proceso de sedimentación.<sup>24</sup>

## 10) Estabilización química

Consiste en el uso de compuestos como ácido sulfúrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, cal y cloro. La cal que es el reactivo más común, se adiciona para aumentar el pH hasta 12 o más, con un tiempo de contacto adecuado para inactivar o destruir patógenos, existen dos formas de estabilización química: la preestabilización y la postestabilización. En la primera la cal es adicionada antes del desaguado utilizándola como acondicionador acompañada de sales de aluminio y hierro. En la postestabilización en cambio, la cal se añade a la pasta obtenida después del proceso de desaguado. Se usa principalmente cal viva para aprovechar el calor generado en la reacción e incrementar la destrucción de patógenos. La dosis de cal a utilizar se obtiene mediante la experimentación ya que existen muchos factores que la modifican como es el caso del contenido de sólidos (**Cuadro 13**).

**Cuadro 13.** Curvas comparativas para determinar la dosis mínima de cal (CaO) para producir biosólidos tipo B a partir de lodos generados en una planta de tratamiento en México (pH y coliformes fecales) Fuente: Jiménez 1998<sup>23</sup>





Todos los tratamientos que se le dan a los lodos tienen ventajas y desventajas y en ellas es indispensable basarse para determinar cual es la más adecuada para cubrir las necesidades de cada planta de tratamiento, estas se encuentran resumidas en el cuadro 14.

**Cuadro 14.** Ventajas y desventajas de los principales procesos de estabilización de lodos.

<b>Proceso</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Digestión anaeróbica	<p>Buena reducción de SSV (40 % a 60 %).</p> <p>Los costos de operación pueden ser bajos si se utiliza el gas metano.</p> <p>Amplia aplicación.</p> <p>Los sólidos obtenidos son apropiados para uso agrícola.</p> <p>Buena reducción de patógenos.</p> <p>Reducción de la masa total.</p> <p>Bajos requerimientos netos de energía</p>	<p>Requiere que los operadores sean experimentados. Pueden formarse espumas.</p> <p>Los organismos metanogénicos pueden crecer lentamente en "digestores ácidos".</p> <p>Se recobra lentamente después de un colapso.</p> <p>Sobrenadante con alto contenido de DQO, DBO, SST y NH<sub>3</sub></p> <p>La limpieza es difícil. Puede generar olores desagradables.</p> <p>Alto costo.</p> <p>Medidas de seguridad por la producción de gas inflamable</p>
Digestión aeróbica	<p>Bajo costo inicial, particularmente para plantas pequeñas.</p> <p>El sobrenadante es de mejor calidad que el proveniente del tratamiento anaerobio.</p> <p>Control operacional simple.</p> <p>Amplia aplicación.</p> <p>Bajo potencial de producción de olores con diseño y operación apropiados.</p> <p>Reduce la masa total</p>	<p>Alto costo de energía.</p> <p>Generalmente, menor reducción de SSV que en anaerobia.</p> <p>pH y alcalinidad reducidos.</p> <p>Se pueden formar espumas.</p> <p>Potencial dispersión de patógenos por formación de aerosoles.</p> <p>El lodo es típicamente difícil de desaguar mecánicamente.</p> <p>Las bajas temperaturas afectan adversamente la eficiencia.</p>

---

Estabilización con cal	Bajo costo. Fácil operación. Bueno como método emergente de estabilización	El lodo es apropiado, principalmente, para aplicación en suelos ácidos. Incrementa la masa de sólidos.
------------------------	--	---

---

Fuente: WEF y ASCE, 1992<sup>23</sup>

## **DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS.**

La disposición final y el manejo de los lodos son complejos debido a que están formados principalmente de sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas; el lodo resultante del tratamiento biológico del agua residual, esta compuesto principalmente por la materia orgánica presente en ella, sujeta a procesos de descomposición que lo pueden hacer indeseable y solo una pequeña parte del lodo esta compuesta por materia sólida.<sup>26</sup>

Estos tres métodos principales para la disposición del lodo puede ser: en agua, en tierra y en forma de composta.

- 1) La disposición en agua es económica pero poco común ya que depende de la disponibilidad de masas de agua adecuadas que lo permitan ya que para depositarlos son necesarias aguas profundas y mar adentro para lograr una dilución optima y evitar sus malos efectos a lo largo de la playa.

2) La disposición en la tierra se realiza a través de 3 procesos: 1) enterramiento, relleno y aplicación como fertilizante o acondicionador de suelos.

2.1) El enterramiento se usa principalmente para lodos crudos en lugares donde, a no ser que se cubran con puedan originar molestias, se realiza en zanjas cuya profundidad debe de ser de 60 cm. y deben de estar cubiertas con 30 cm. de tierra como mínimo, como se mencionó antes este método puede ser el de elección para lodos crudos debido a que se puede disponer de ellos de esta forma sin darles un tratamiento previo, aunque las zanjas pueden permanecer húmedas y mal olientes durante años por lo que el terreno no podrá ser usado para algún otro propósito durante algún tiempo.

2.2) Relleno, cuando los lodos se usan como material de relleno, este procedimiento se limita casi exclusivamente a los lodos digeridos los cuales quedan a la intemperie sin producir molestias que puedan considerarse serias o extensas como sería el caso del olor.

2.3) Como fertilizante o acondicionador de suelos, el lodo puede ser de utilidad ya que contiene muchos elementos esenciales para la vida vegetal como: el nitrógeno, el fósforo y el potasio, además contiene trazas de nutrientes menores que se consideran mas o menos indispensables para el crecimiento de las plantas como el boro, el calcio, el cobre, el hierro, el magnesio, el manganeso, el azufre y el zinc. El humus del lodo, además de proporcionar una fuente de nutrientes a los

vegetales, beneficia al suelo aumentando su capacidad de retención de agua y disminuyendo la erosión.<sup>24</sup>

3) La composta de los lodos de agua residual es otra forma de disposición, en este procedimiento se produce un material estable con buenas propiedades como acondicionador de suelos pero con poca reducción de volumen por esa razón solo es justificable si hay mercado para el producto.<sup>26</sup>

Es de gran importancia conocer las características y los posibles tratamientos que se les pueden dar a los lodos ya que de ello depende su disposición final, ya que representan un riesgo no solo sanitario debido a su contenido de patógenos sino también pueden generar un impacto sobre el medio ambiente contaminando las aguas superficiales. En el caso de los mantos acuíferos subterráneos la filtración de los lixiviados puede contaminarlos no solo con patógenos sino también con minerales dañinos, afectando además al suelo convirtiéndolo en un foco de infección. Si los lodos son utilizados como fertilizante pueden convertirse en un vector de enfermedades, también pueden contaminar el aire ya que contienen elementos volátiles como el amoníaco y algunos otros que pueden generar los malos olores.

Este estudio se realizó enfocándose a enterobacterias y las bacterias *Salmonella spp.*, *Clostridium perfringens* y *Erysipelothrix rhusiopathiae* debido a su patogenicidad tanto para animales como para el hombre, las dos primeras se consideran contaminantes de origen fecal; las últimas se consideran contaminantes del suelo, además de tener una resistencia comprobada a

sobrevivir por periodos relativamente largos dependiendo del sustrato, aumentando si el contenido de materia orgánica es alto como son los lodos.

### **Enterobacterias**

Las Enterobacterias son bacilos que no presentan agrupación definida. Son microorganismos Gram negativos.

La mayor parte de los miembros de esta familia son habitantes normales del tracto gastrointestinal de animales y del hombre. Son eliminadas en las heces, contaminando así el medioambiente. Muchas especies se encuentran en el ambiente de forma ubicua. Existen algunas enterobacterias patógenas para el hombre y/o los animales domésticos, los lactosa positivos: *Citrobacter spp*, *Klebsiella*, *Escherichia*. Los lactosa negativos: *Proteus spp.*, *Salmonella spp*, *Shigella spp* y *Yersinia enterocolitica*. En general provocan enfermedades intestinales debido a la contaminación fecal, estas bacterias pueden estar involucradas en infecciones en cualquier otro lugar del organismo, incluyendo tracto genital, respiratorio y heridas, provocando mastitis, septicemias.

### ***Salmonella spp***

Son bacilos Gram negativos, todas la serovariedades son móviles excepto las adaptadas a aves como *Salmonella enterica* serovariedad Pollorum y serovariedad Gallinarum, son anaerobios facultativos, lactosa negativos, no esporulados. Forman parte de la familia de las enterobacterias. Son notables por su capacidad de infectar un amplio rango de huéspedes, se les ha aislado prácticamente de todos los vertebrados en los que se les ha buscado, existen más de 2400 serotipos, tienen un amplio rango de huéspedes, algunos serotipos solo se adaptan a un especie de huésped, como *Salmonella enterica* serovariedad

Pratyphi a humanos; *S. Dublin* a bovinos y *S. Choleraesuis* a cerdos, muchos serotipos no se asocian a enfermedad y parecen tener un rango limitado de huéspedes.

Se multiplican de 7 a 45°C, su supervivencia disminuye por debajo de pH de 5, soportan bien la desecación y la congelación, y pueden sobrevivir en sustratos orgánicos incluso por años, en fosas de oxidación de estiércol hasta por 47 días, aunque son rápidamente inactivadas por el calor y por la luz solar. Los serotipos más frecuentemente aislados en el cerdo son *S. choleraesuis* y *S. typhimurium*.

### ***Clostridium perfringens***

Las bacterias del género *Clostridium* son organismos bacilares Gram positivos, formadores de esporas, anaerobios estrictos, la mayoría son móviles a excepción de *C. perfringens* que es inmóvil, otra característica de *C. perfringens* es la presencia de cápsula a diferencia de otros del género.

Existen 5 tipos, clasificados por letras de la A a la E por la producción de toxinas, cada uno de los tipos produce una combinación distinta de 4 toxinas designadas con letras griegas desde alfa hasta iota.

*C. perfringens* tipo A se encuentra en tracto intestinal de las personas y de los animales y en la mayoría de los suelos. Los tipos B, C, D y E se encuentran principalmente en el intestino de los animales, y su supervivencia en el suelo es variable. Su transmisión se da por ingestión y por infección de heridas.

En cerdos el tipo C se vincula a enteritis necrótica y el A junto con el C pueden invadir lesiones ya existentes.

### ***Erysipelothrix rhusiopathiae***

Es un bacilo pleomórfico que tiende a formar largos filamentos, es Gram positivo, es aerobio pero crece mejor en atmósferas con entre el 5 y el 10 % de CO<sub>2</sub> es inmóvil, no produce cápsula y no esporula, es catalasa negativo, se encuentra ampliamente difundido en la naturaleza como en mamíferos, aves, peces, produce enfermedad en ovinos y ovejas, llegando a causar poliartritis, también ocasiona gran mortalidad en pavos, en el cerdo produce la erisipela porcina que se manifiesta por una septicemia aguda, subaguda o crónica, generando lesiones proliferativas como lesiones en piel y poliartritis. En el hombre la enfermedad llamada erisipeloide genera lesiones cutáneas. En el suelo esta bacteria puede llegar a sobrevivir durante 20 días o más, los suelos alcalinos y con altos contenidos de materia orgánica favorecen su supervivencia, en heces de cerdo puede llegar a sobrevivir hasta 6 meses si la temperatura permanece por debajo de los 12° C. <sup>27,28,29,30</sup>

## **HIPÓTESIS**

La cuantificación de enterobacterias y la presencia de *C. perfringens*, *E. rhusiopathiae* y *Salmonella spp* es la misma en los lodos resultantes de las tres diferentes etapas del proceso que integran el sistema de filtración del agua proveniente de una granja porcina a pequeña escala.



## OBJETIVOS

Objetivo general: Contar enterobacterias, aislar e identificar *C. perfringens*, *E. rhusiopathiae* y *Salmonella spp* en lodos obtenidos a partir de un proceso de tratamiento de filtración en una granja porcina a pequeña escala.

Objetivos particulares

- a) Contar enterobacterias
- b) Aislar e identificar *Salmonella spp*
- c) Aislar e identificar *C. perfringens*
- d) Aislar e identificar *E. rhusiopathiae*
- e) Comparar los resultados de las diferentes etapas del sistema empleado antes y después del tratamiento (filtración) utilizando el lodo resultante de cada uno de los pasos de la filtración.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de campo del presente experimento se llevó a cabo en una granja porcina ubicada en el municipio de Otumba en el Estado de México, el cual está a una altitud media de 2,250 metros sobre el nivel del mar, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.8 °C y una precipitación pluvial promedio anual de 573.3 mm.<sup>27</sup> El propósito de esta granja es la producción de lechones y está diseñada para una población de 100 hembras reproductoras.

La empresa tiene un sistema de tratamiento primario (**Figura 1**) que consiste en la recolección de las excretas de todas las áreas de producción de la granja hacia un cárcamo de colección (CC), con las siguientes medidas:

- 2.34 m. de ancho
- 3.06 m. de largo
- 5 m. de profundidad al centro



**Figura 1.** Sistema de tratamiento primario.

Posteriormente pasan por un separador mecánico de sólidos (**Figura 2**), el cual consiste en una prensa de tornillo que exprime los desechos, así se obtienen las fracciones sólida y líquida. Esta última se transporta a través de un tubo separador a la fosa de sedimentación aeróbica (**Figura 3**) cuyas medidas son:

- 1.66 m. de ancho
- 1.95 m. de largo
- 2.43 m. de profundidad.



**Figura 2.** Separador de sólidos y líquidos de prensa.



**Figura 3.** Fosa de sedimentación aeróbica.

Cabe señalar que el agua permanece aquí durante 48 horas. Después de este periodo con la ayuda de una bomba hidráulica de  $\frac{3}{4}$  de caballo de presión, el agua pasa a través de tres filtros, los cuales tienen las siguientes medidas: 3 m de ancho, 1.50 m de largo y 2 m de profundidad. La profundidad de tezontle (de diferente diámetro) en cada uno de los filtros es de tres capas de 0.40 cm dando un total de 1.20 m de medio filtrante (**Figura 4**). Finalmente el agua filtrada se deposita en una cisterna, para su posterior uso para riego agrícola. El proceso de tratamiento, desde la entrada del material a CC hasta la salida de los tres filtros, tiene una duración de siete días.



**Figura 4.** Medio filtrante de tezontle.

Muestreo: Se realizó una vez a la semana durante cinco semanas. En cada semana se obtuvieron muestras de un litro de lodo utilizando un dispositivo hidráulico (**Figura 5**), en los siguientes puntos de muestreo: Lodo de la fosa de

sedimentación (LFS), Lodo obtenido del primer filtro (LF1), Lodo obtenido del segundo filtro (LF2) y finalmente lodo obtenido del tercer filtro (LF3). El lodo se depositó en frascos rotulados y se colocaron en una caja de poliuretano con refrigerantes (**Figura 6**). El procesamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de bacteriología del Departamento de Producción Animal: Cerdos, de la FMVZ de la UNAM (Certificado ISO 9001:2000 RSGC 24b).



**Figura 5.** Muestreo realizado en los filtros.



**Figura 6.** Muestras con refrigerantes.

## Conteo de Enterobacterias.

Para el conteo de enterobacterias se realizó la técnica de conteo en placa, para lo cual se llevaron a cabo diluciones décuples seriadas a partir de  $10^{-1}$  a  $10^{-10}$ , colocando un mililitro (ml) de muestra en nueve mililitros de agua peptonada estéril, se homogenizó en un agitador y se transfirió un mililitro a otro tubo para hacer la dilución siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al tubo número diez (**Figura 7**). De cada dilución se tomaron 50 microlitros ( $\mu$ l) y se sembraron en agar MacConkey, se incubaron a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Posteriormente se realizó la lectura del número de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml).<sup>28</sup>



**Figura 7.** Dilución en tubos.

## Aislamiento e identificación de *Salmonella spp.*

Para el aislamiento e identificación de cada muestra se tomaron 5 ml de lodo y se inocularon en 45 ml de agua peptonada, posteriormente se transfirieron 10 ml de ésta solución a 90 ml de caldo selenito de sodio y otros 10 ml a 90 ml de caldo tetrionato, adicionándole previamente la solución de yodo al 2%, se incubaron a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Se resembraron a través de la técnica de hisopo (**Figura 8**) en placas de agar Salmonella-Shigella (SS) y Verde brillante (VB), se incubaron a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 h (22). Las placas de agar se examinaron

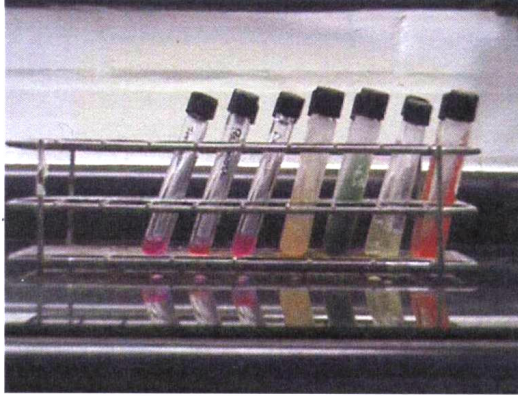
diariamente, las colonias sugestivas de *Salmonella spp.* en medio de cultivo SS se observaron transparentes lactosa negativas con o sin (ácido sulfhídrico en el centro punto negro) y de color rosa en VB (**Figura 9**). Las colonias sugestivas se resembraron en una placa de agar VB y se incubaron a 37 °C por 24 horas para obtener un cultivo puro. Se realizó un frotis fijo y a las colonias que resultaron bacilos uniformes Gram negativos se les realizó su identificación a través de pruebas bioquímicas que se incubaron durante 24 h a 37 °C, TSI: glucosa positivo, lactosa negativo y sacarosa negativo puede o no producir H<sub>2</sub>S, movilidad en SIM positiva, Indol negativo, positivo Agar Citrato de Simmons y la urea negativa, en la fermentación de carbohidratos son positivos ramnosa, arabinosa y trehalosa y malonato negativo, (**Figura 10**).



**Figura 8.** Toma de muestra a partir de los frascos con caldo selenito de sodio para su posterior sembrado.



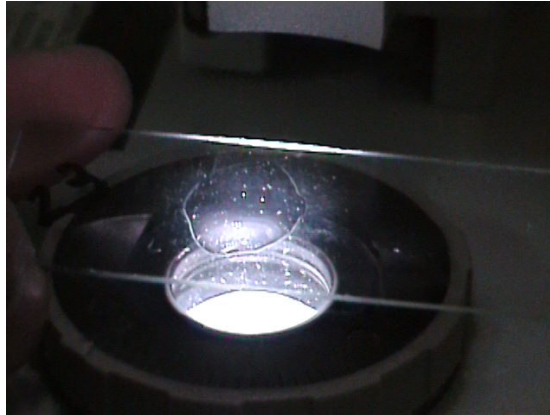
**Figura 9.** Aislamiento de *Salmonella spp.* en medio verde brillante.



**Figura 10.** Identificación bacteriana a través de pruebas bioquímicas como Agar TSI, medio de SIM, Agar Citrato de Simmons, Urea y carbohidratos

Para confirmar a las colonias que daban bioquímicamente positivas se les hizo la prueba de aglutinación en placa utilizando el antisuero de Salmonella VI y al observarse una aglutinación positiva se les realizó con el grupo somático O (Salmonella O Grupo C<sub>1</sub>, y el D factores 6, 7) homogenizando las colonias con los respectivos antisueros, sí durante los 3 primeros minutos se observa una aglutinación en la reacción del antisuero D es positiva al serotipo *S. enterica* y si la aglutinación es con el antisuero C<sub>1</sub> es positiva al serotipo *S. choleraesuis*<sup>35</sup> (**Figura 11**).





**Figura 11.** Prueba de aglutinación para la tipificación de *Salmonella enterica* con el uso de antisueros.

### **Aislamiento e identificación de *C. perfringens*.**

De la muestra directa y de las diluciones  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  se sembraron 50  $\mu$ l en agar sangre (reducido previamente por 48 h.) y se incubaron a 37°C en condiciones de anaerobiosis, utilizando para ello sobres de Gas Pack, durante 48 horas (**Figura 12**). Las colonias circulares, grisáceas, de uno a 3 mm de diámetro, lisas, de bordes irregulares y con presencia de doble hemólisis; se purificaron y del cultivo puro se incubaron en condiciones aeróbicas con lo cual se determinó que eran anaerobias estrictas, a las colonias se les realizó la tinción de Gram para comprobar que fueran bacilos Gram (+), posteriormente a las colonias (+) se les realizó la tinción de Maneval para identificar la cápsula. Finalmente se sembraron en caldo tioglicolato para su identificación con pruebas bioquímicas siendo negativas las pruebas de catalasa e indol y positiva la de reducción de nitritos, en cuanto a la fermentación de carbohidratos, son negativos: arabinosa, manitol, ramnosa, salicin y xilosa y positivos: galactosa, glucosa, inositol, lactosa, maltosa,

sacarosa, sorbitol y trehalosa dudoso. El resultado de leche tornasolada es acidifica, coagula y pigmenta <sup>32,34</sup>



**Figura 12.** Incubación en condiciones de anaerobiosis utilizando sobres de Gas Pack.

### **Aislamiento e identificación de *E. rhusiopathiae*.**

Se inoculó un ml de lodo en nueve ml de agua peptonada, incubándose a temperatura ambiente por 24 h después se sembraron 50  $\mu$ l en agar sangre se incubo a 37 C por 48 h en una jarra de microaerofilia para proporcionar 10% de CO<sub>2</sub>. Las colonias sospechosas con un diámetro entre 0.5 y 1 mm, lisas, convexas, circulares, transparentes, con el borde regular o irregular que presentaron hemólisis incompleta,<sup>22,24</sup> y que al frotis resultaron bacilos Gram (+), se purificaron y se les realizó la bioquímica correspondiente para su identificación, siendo positiva a la prueba de cepillo, con la producción de H<sub>2</sub>S en el medio de TSI, hidrólisis de arginina y negativas las pruebas de catalasa, hidrólisis de esculina y reducción de nitratos y en la fermentación de carbohidratos resultan positivas las pruebas de: arabinosa, galactosa y lactosa; maltosa trehalosa, manitol, salicin, sorbitol y rafinosa negativos y xilosa dudoso,). <sup>32,34</sup>

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los resultados de las unidades formadoras de colonia por ml (UFC/ml) para el conteo de enterobacterias de las muestras tomadas de la LFS, LF1, LF2, LF3, se transformaron obteniendo el logaritmo base 10; con los datos así transformados se llevó a cabo el análisis de varianza, por medio del paquete estadístico SAS (Statistic Analisis System, 1998) utilizando el siguiente modelo:

$$\gamma_{ijk\lambda} = \mu + A_i + e_{ijk\lambda} \text{ donde:}$$

$\gamma_{ijk\lambda}$  = variable de respuesta.

$\mu$  = media general.

$A_i$  = Efecto del tipo de muestra (1 = lodo de la fosa de sedimentación, 2 = lodo del primer filtro, 3 = lodo del segundo filtro, 4 = lodo del tercer filtro),  $i = 1, 2, 3, 4$

$e_{ijk\lambda}$  = error experimental.

Los resultados del aislamiento de *Salmonella spp.* se representaron en porcentaje en el cuadro 16.

## RESULTADOS

En lo que respecta al conteo de enterobacterias (UFC/ml) el promedio que se obtuvo en las diferentes etapas de tratamiento, para la fosa de sedimentación fue de  $7.4 \times 10^5$  UFC/ml, en el caso del filtro uno de  $4.76 \times 10^5$  UFC/ml, para el filtro dos de  $9.28 \times 10^5$  UFC/ml y en el filtro tres de  $2.84 \times 10^5$  UFC/ml. En los cuales no hubo diferencia estadística ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 15.** Conteo de enterobacterias UFC/ml por fase de tratamiento

Tratamiento	UFC/ml.	Desviación estándar
Fosa de sedimentación	$7.4 \times 10^5$	$4.8 \times 10^5$
Filtro 1	$4.76 \times 10^5$	$6.39 \times 10^5$
Filtro 2	$9.28 \times 10^5$	$1.72 \times 10^6$
Filtro 3	$2.84 \times 10^5$	$4.11 \times 10^5$

No hubo diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos.

Para el aislamiento de *Salmonella* spp se logró en una muestra del lodo proveniente del filtro 2 (5%) y en tres muestras (15%) del lodo proveniente del filtro 3 (**cuadro 16**).

**Cuadro 16.** Aislamientos positivos de *Salmonella* spp.

Fase del tratamiento	Número de muestras	Número de muestras (+)	%
Fosa de sedimentación	5	0	0
Filtro 1	5	0	0
Filtro 2	5	1	5
Filtro 3	5	3	15

Al realizar la tipificación de *Salmonella* spp con el antisuero de VI y el grupo somático O (*Salmonella* O Grupo C<sub>1</sub>, y el D factores 6, 7) se determinó que las muestras corresponden al serotipo *S. enterica* debido que reaccionó aglutinando con el antisuero D.

No se logró el aislamiento de *C. perfringens* ni de *E. rhusiopathiae* en los lodos analizados.

## DISCUSIÓN

En relación al contenido de Enterobacterias (UFC/ml), en el presente trabajo se obtuvo para la fosa de sedimentación  $7.4 \times 10^5$  UFC, para el filtro 1 de  $4.76 \times 10^5$  UFC, filtro 2 de  $9.28 \times 10^5$  UFC y para el filtro 3 de  $2.84 \times 10^5$  UFC datos menores a lo obtenido por Mejía (2006), que al analizar el agua residual que se obtiene de la misma planta de tratamiento para la fosa de sedimentación fue de  $1.48 \times 10^7$ , para el filtro 1 de  $2.31 \times 10^6$ , filtro 2 de  $6.9 \times 10^5$  y finalmente para el filtro 3 de  $8.8 \times 10^5$ .

La cantidad de muestras positivas al aislamiento de *Salmonella* spp fue del 20 %, resultados mayores a lo encontrado por Mejía (2006), que al obtener 40 muestras de agua residual solo se logró aislar el agente en el 15 % (6 muestras). Se difiere con lo reportado por Castro y Pérez (2003) quienes establecen que no fue posible aislar *Salmonella* spp de lodos fermentados. Así mismo se coincide con Jeffery (2004) quien a lo largo de 6 meses realizó muestreos de lagunas de sedimentación de granjas bovinas y le fue posible aislar *Salmonella* spp a partir de las muestras obtenidas de las lagunas de sedimentación.<sup>39</sup>

En lo que respecta a *Clostridium perfringens* coinciden los resultados de este trabajo con lo obtenido por Mejía (2006) que al analizar 40 muestras de agua residual no logro aislarla.<sup>20</sup> Así mismo con Jeffery et al (2004) quienes no pudieron aislar *Clostridium perfringens* a partir de la fracción sólida obtenida de lagunas de sedimentación.<sup>40</sup> Sin embargo, se difiere a lo reportado por Hijnen et al

(2004) al realizar el muestreo del material (lodo) que queda atrapado en los filtros de arena de una planta piloto, si encontraron esporas de *Clostridium perfringens*.<sup>39</sup>

Durán (2001) realizó estudios en España en relación a sistemas de lagunas de sedimentación evaluándolas en invierno y en verano pudo aislar *Clostridium perfringens*. Pero también se estableció que la densidad de este microorganismo podía verse afectada por la estación del año y así obtuvo como promedio en verano  $1.14 \times 10^8$  UFC/100 ml y en invierno  $2.27 \times 10^8$  UFC/100 ml.

Se difiere con Olsen (1987) quien aisló *Erysipelothryx rhusiopathiae* de lodos inoculados y al someterlos a un proceso de digestión anaerobia las bacterias ya podían ser aisladas dependiendo de los diferentes tiempos y temperaturas a las que se realizara el proceso, si se sometían a 35 °C podían estar viables hasta por 8 días y si se sometían a 53 °C solo permanecían hasta por 2 horas.

Por último, hay que tomar en cuenta que existe una serie de factores que afectan la presencia o ausencia de los microorganismos patógenos, como es la fermentación o degradación, ya sea anaeróbica o aeróbica, (Iñigo *et al.*, 1991) la concentración de ácidos grasos volátiles que tienen una actividad inhibitoria o bactericida, la disminución del pH, el aumento de la temperatura del liquido (53 °C) (Olsen, 1987; Mateu *et al.*, 1992) y por último, la realización o no de la remoción constante del material que se encuentra en las diversas fases del sistema de tratamiento de agua residual.

## **CONCLUSIONES**

Se concluye que al no existir diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) en relación a la disminución de enterobacterias, ni de *Salmonella* spp contenida en los lodos de tres diferentes etapas del proceso que integran el sistema de filtración del agua proveniente de la granja en cuestión, es necesario que este material reciba un tratamiento antes de su disposición final.



## LITERATURA CITADA

1. Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI) - Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México.
2. Inventario porcino en México (1980-2003). Disponible en: <http://www.porcicultura.com/estadisticas/?seccion=ver&estadistica=estad13-04>.
3. Pérez ER. La ganadería porcina y el medio ambiente. Desarrollo porcícola, 1992; 7:4-6.
4. Salazar GG. Algunas consideraciones sobre el manejo y valor de las excretas en la alimentación animal. Memorias del XIV Congreso Panamericano en Ciencias Veterinarias; 1994 octubre 9-15: Acapulco Guerrero, México. PANVET, 1994: 595-596.
5. Day DL. Aprovechamiento de excretas animales, como ingrediente para raciones alimenticias. Porcira 1988; 11 (134):41-55.
6. Taiganides PE, Pérez ER, Girón SE. Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. México: Consejo Mexicano de porcicultura, A.C., 1996. 77-80.
7. Moser MA. Tratamiento de residuales porcinos para su uso en riego agrícola. Memorias sobre el segundo seminario sobre manejo y reciclaje de residuos porcinos; 1997 octubre 22-25; Querétaro México (D.F.): Consejo Mexicano de Porcicultura. A.C. E Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 1997.

8. Franco G. Colección y manejo de aguas residual. Memorias sobre el segundo seminario sobre manejo y reciclaje de residuos porcinos; 1997 octubre 22-25; Querétaro México (D.F.): Consejo Mexicano de Porcicultura. A.C. E Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 1997:32-40.
9. English PR, Fowler VR, Baxter S, Smith B. The growing and finishing pig. Improving Efficiency. Britain: Farming Press, 1988.
10. Kato, M L. La producción porcicola en México: Contribución al desarrollo de una visión integral. UAN. México 1995.
11. Moser MA. Tratamiento para otros usos: recuperación de metano. Memorias sobre el segundo seminario sobre manejo y reciclaje de residuos porcinos; 1997 octubre 22-25; Querétaro, México (D. F). Consejo Mexicano de Porcicultura. A.C. E Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 1997b:18-24.
12. Pérez ER. Porcicultura intensiva y medio ambiente en México, situación actual y perspectivas. Disponible en:  
<http://www.cipav.org.co/cipav/conf/iespejo.htm>. México, 1999.
13. Pérez REW. Porcicultura y medio ambiente. Memorias del segundo Seminario sobre manejo y reciclaje de residuales porcinos; 1997 octubre 22-25; Querétaro México (D.F): Consejo Mexicano de Porcicultura. A.C. E Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 1997: 10-12.
14. Taiganides EP. Manejo de desechos en ganadería, métodos prácticos en la perspectiva mundial y latinoamericana. Memorias del XIV Congreso Panamericano en Ciencias Veterinarias; 1994 octubre 9-15: Acapulco Guerrero, México. PANVET, 1994: 597-598.

15. Strauch D, Ballanini G. Hygienic aspects of the production and agricultural use of animal wastes. *Journal Veterinary Medicine* 1994; 41: 174-228.
16. Hernández CB. Determinación de bacterias patógenas en ensilados de excretas porcinas con caña de azúcar (tesis de licenciatura). México, D.F.: FMVZ, UNAM, 1997.
17. Henry. D.P. Frost.A:J, O'Boyle D.A.and Cameron R.D.(1995). The Isolation of salmonellas from piggery waste water after orthodox pondage treatment. *Australian Veterinary Journal* 72 (12):478-479.
18. Norma Oficial Mexicana. Disponible en:  
<http://www.comercori.com/nom.html>. NOM-004-SEMARNAT-2002
19. Martínez GR, Pradal RP, Castrejon PF, Herradora LM, Galván E, Mercado C. Persistent of *Escherichia coli*, *Salmonella cholerasuis*, Aujeszky's Disease virus and Blue Eye Disease Virus in ensilages based on the solid Fraction of pig faeces. *Journal of Applied Microbiology* 2001; 91: 750-758.
20. Mejía RA. Identificación de enterobacterias y anaerobios en aguas residuales obtenidas a partir de un tratamiento de filtración en una granja porcina a pequeña escala (tesis de licenciatura). México, D.F., FMVZ, UNAM, 2006.
21. Bravo AA. Efecto de la exposición a la fracción líquida de los residuos de granja obtenidos a partir de un sistema de tratamiento físico químico (filtración y cloración ) sobre la salud de cerdos destetados (tesis de maestría). México, D.F. FMVZ, UNAM, 2006.

22. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. Editor José María Meralta Alba, Ministerio de Agricultura. Santiago – Chile 2005.
23. Jiménez CB, La Contaminación Ambiental en México, Causas Efectos y Tecnología Apropiaada. México, Limusa, 2001.
24. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de tratamiento de aguas negras, México, Limusa 1996.
25. Seoáñez CM, Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias, España, Mundi-Prensa, 2003.
26. Hardenbergh WA, Rodie BE, Ingeniería Sanitaria. México. Continental 1987.
27. Scalan CM. Introducción a la bacteriología veterinaria. Zaragoza, España: Acribia. 1991.
28. Biberstein EL, Chung ZY. Tratado de microbiología veterinaria. Zaragoza, España. Acribia, 1994.
29. Straw B.E., D'Allaire S., Mengeling W.L., Taylor D.J., Enfermedades del cerdo 8ª Edición, Buenos Aires Argentina, Inter-Médica, 2000.
30. gyle C.L., Prescott J.F. Patogenesis of Bacterial Infection in Animal Third edition, Blackwell Publishing. 2006.
31. Pérez, M.J.; et al. Procedimientos de laboratorio para bacteriología y micología veterinarias. FMVZ-UNAM. México. D.F., 1989.
32. Carter G.R., Chenyappa M.M. Bacteriología y micología veterinaria .México D.F. . Manual Moderno, 1994.

33. Secretaria de Gobernación y Gobierno del Estado de México. Los Municipios del Estado de México. Colección: Enciclopedia de los municipios de México. México, D.F., 1988.
34. Carter GR. Procedimientos de diagnóstico en bacteriología y micología veterinarias. Zaragoza, España. Editorial Acribia. 1969..
35. Quinn PJ, Carter GR. Clinical Veterinary Microbiology. London, Great Britain: Wolf, 1994.
36. Crier NR, Holt JG, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol 2. Baltimore, USA: Williams & Wilkins, 1984.
37. Scalan CM. Introducción a la bacteriología veterinaria. Zaragoza, España. Acribia. 1991.
38. Cowan ST. Manual for the identification of medical bacteria. Tercera edición. Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press, 1993.
39. Mac Faddin J.F. Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica. México, D.F. Panamericana, 2003.
40. Hijnen W.A.M., Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. Water Science and Technology. Vol. 50 No. 1. 2004
41. Jeffery A. Identification of Bacterial Populations in Dairy Wastewaters by Wastewaters 16SrRNA Gene Sequences and Other Genetic Markers. Applied and environmental Microbiology. Vol. 7, No. 7. 2004.
42. Durán E. Comportamiento de los bacteriófagos como microorganismos modelo frente a diferentes procesos naturales y artificiales del agua. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona 2001.

43. Iñigo, D. C., Angelo, I. S., Soto, C. S. y Alcaíno, H. (1991). Caracterización bacteriológica y parasitológica del desecho fecal porcino en Chile. *Avances en Ciencias Veterinarias* 6(1) 23-28.
44. Olsen J.E.. Bacterial Decimation Times in Aerobic Digestions of Animal Slurries . *Biological Wastes*. No 21.1987.
45. Mateu, A., Mata Alvarez, J. y Parés, R. (1992). Enterobacterial and viral decay experimental models for anaerobic digestion of piggery waste. *Applied Microbiology and Biotechnology* 38: 291-296.