

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO  
EN INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO  
EMPACADO CON AGREGADOS MINERALES PARA  
LA ELIMINACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTO”**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**P R E S E N T A:**

**RAFAEL MAGAÑA LÓPEZ**

**TUTOR: DR. VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO**



2011



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.

Presidente	Dra. Georgina Fernández Villagómez
Secretario	M en I. Esperanza Ramírez Camperos
Vocal	Dr. Víctor Manuel Luna Pabello
1 <sup>er</sup> Suplente	Dra. Alma Concepción Chávez Mejía
2 <sup>do</sup> Suplente	Dr. Oscar González Barceló

Lugar donde se realizó la tesis:

Laboratorio de Microbiología Experimental, Departamento de Biología, Facultad de Química,  
UNAM

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello  
**TUTOR**

Rafael Magaña López  
**SUSTENTANTE**

**El presente trabajo ha participado en:**

**El programa para el patentamiento y la innovación organizado por la coordinación de innovación y desarrollo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) 2009, con el nombre de “Humedal Artificial de alta eficiencia en la remoción de organismos patógenos y nutrientes”, el cual se desarrollo en el marco de proyecto UNAM-DGAPA PAPIIT IN-107209.**

**Los resultados obtenidos han sido de utilidad para el desarrollo de los proyectos académicos interdisciplinarios que se realizan entre la UNAM y la UAM bajo el convenio NUM. 18029-314-13-III-06, específicamente en el rubro del mejoramiento funcional de la planta piloto humedal artificial de flujo combinado, así como para el desarrollo de la propuesta presentada al Gobierno del Distrito Federal en el marco del proyecto FQ-657 “Humedal artificial para el control de la contaminación del lago del Bosque de San Juan de Aragón”.**

**Por otra parte, los avances experimentales fueron presentados en el XXXII Congreso Internacional AIDIS Punta Cana, República Dominicana, 2010, a través de la ponencia en MODALIDAD ORAL: EFECTO DE DIFERENTES ESTADOS DE OXIDACIÓN DE LA PLATA EN LA PERDIDA DE VIABILIDAD DE HUEVOS DE *Toxocara canis* (Werner, 1782).**

**Actualmente se encuentran en proceso de redacción los artículos:**

**PERFORMANCE EVALUATION OF EXPERIMENTAL DISINFECTANT FILTERS AS AN ALTERNATIVE FOR HELMINTH OVA INACTIVATION, para ser enviado a la revista Water Research.**

**DAÑO ESTRUCTURAL DE HUEVOS DE *Toxocara canis* INDUCIDO POR SU CONTACTO CON AGREGADOS MINERALES NATURALES, para ser enviado a la revista Hidrobiológica.**

## **RECONOCIMIENTOS**

**A CONACYT por la beca otorgada para la realización de los estudios de la maestría en Ingeniería (Ambiental) durante el periodo Agosto 2008- Julio 2010.**

**Se hace patente el apoyo recibido por parte de DGAPA PAPIIT IN-107209 “Desarrollo de un humedal artificial de alta eficiencia para remoción de contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos”, así como del PAIP FQ-VMLP 6190-14 de 2009 y 2010.**

**Al Dr. Víctor Manuel Luna Pabello por la confianza absoluta en la dirección, realización y redacción de la tesis, así como por la confianza en el desarrollo de proyectos paralelos.**

**A la Dra. Georgina Fernández Villagómez por aceptar ser parte del comité tutorial, así como por las correcciones, dirección, sugerencias y atenciones que ha tenido conmigo.**

**A la Dra. Alma Chávez Mejía por los acertados comentarios y por las conversaciones enriquecedoras que hemos mantenido para dar una mayor fluidez y entendimiento al trabajo.**

**A la M en C. Patricia Castro y al M en C. Luciano Hernández por el apoyo brindado.**

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

**A Dios por todo lo que me ha dado desde siempre.**

**A la UNAM por dejarme ser parte una vez más.... más no la última de ellas.**

**Siempre será para mí un honor y privilegio estar AQUI.**

**A la ENP # 4 “Vidal Castañeda y Nájera” por deformarme como estudiante y por darme  
TANTA, TANTA, TANTA educación de la vida. ¡Muchas Gracias!**

**A Yun por compartir su cariño y tiempo conmigo, por todo lo que hemos pasado juntos y  
por darme su apoyo, aunque muchas veces no estuviera de acuerdo.**

**A Damián, Saul, Stellina, Sir Acon, Mar, Margara, Benja, Chueck Diana, Hugo, Héctor,  
Paty, Tie, Kenny, Mireille, Luigui, Dulce, Lorena, Angela, Mich, Karlita, Rod, y Mario.  
Gracias por brindarme su amistad, compañía y por tantos momentos divertidos, pero  
sobre todo....por dejarme aprender de ustedes.**

**A todos los que me ayudaron a realizar la parte experimental, dar forma y formato a la  
tesis: Paty, Alejandra, Cuco, Benja, Houstin, Chueck y Rex.**

## **D e d i c a t o r i a**

**A Mi familia**

**Shutka**

**Mi Mama Sara Elena G. López Sandoval**

**Salvador López Sandoval**

**José Luis López Sandoval**

**Les doy gracias por todo el apoyo que me han dado, por su tiempo, cariño, atención y por haberme dado su confianza.**

**Todo lo que hago, lo hago siempre pensando en ustedes...**

**MUCHAS GRACIAS**

**A mis Padrinos: Alicia y Armando por haberme dado su cariño y cuidados, pero sobre todo por ser buenas personas siempre.**

**El motivo de que un autor escriba libros largos es para convencer a la gente y a sí mismo de que no perdió el tiempo realizándolos.**

**Sigh, sigh, sigh...it will always be  
as green as you can see...**

**voglio restare sempre sveglio  
con tutti i miei sogni  
voglio riuscire a non crescere  
io voglio un mondo all'altezza dei sogni che ho  
voglio deciderlo io se mi basta o se no  
voglio volere...**

**Il faut faire de la vie un rêve et faire d'un rêve une réalité...**



ÍNDICE

RESUMEN .....	15
1 INTRODUCCIÓN.....	17
2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	19
HIPÓTESIS .....	19
OBJETIVOS.....	19
3 MARCO DE REFERENCIA .....	22
3.1 Organismos de importancia en la desinfección .....	23
3.1.1 <i>Resistencia de helmintos</i> .....	23
3.1.2 <i>Elección del organismo de prueba</i> .....	24
3.1.3 <i>Helmintiasis y morbilidad</i> .....	24
3.1.4 <i>Toxocara canis</i> .....	25
3.1.5 <i>Ciclo de vida</i> .....	30
3.2 Desinfección .....	32
3.2.1 <i>Mecanismos de acción de los desinfectantes</i> .....	33
3.2.2 <i>Mecanismo de acción en la pérdida de viabilidad en helmintos</i> .....	34
3.2.3 <i>Desinfección convencional</i> .....	36
3.2.4 <i>Desinfección no convencional</i> .....	38
3.2.5 <i>El uso de la plata como agente desinfectante</i> .....	39
3.2.6 <i>Inactivación por los estados de oxidación de la plata</i> .....	40
3.2.7 <i>Factores fisicoquímicos que deben considerarse en la desinfección por plata</i> ..	41
3.2.8 <i>Desinfectante ideal</i> .....	42
3.2.9 <i>Cinética de la desinfección química</i> .....	43
3.2.10 <i>Modelos de desinfección química</i> .....	45
3.3 Filtración .....	47
3.3.1 <i>Mecanismos que intervienen dentro de la filtración</i> .....	48
3.3.2 <i>Tipos de filtros</i> .....	49
3.3.3 <i>Cinética de filtración</i> .....	50
3.3.4 <i>Modelos de filtración</i> .....	52
4 METODOLOGÍA.....	54
4.1 Primera etapa experimental .....	55
4.1.1 <i>Obtención de lote de agua</i> .....	55
4.1.2 <i>Acondicionamiento</i> .....	55
4.1.3 <i>Obtención del AM</i> .....	56
4.1.4 <i>Caracterización del AM</i> .....	57
4.1.5 <i>Obtención del material helmintológico</i> .....	59
4.1.6 <i>Validación del organismo</i> .....	60
4.1.7 <i>Determinación de criterios de diseño</i> .....	65
4.2 Segunda parte experimental.....	69
4.2.1 <i>Diseño del sistema filtrante</i> .....	70
4.2.2 <i>Dimensionamiento del filtro</i> .....	74
4.2.3 <i>Construcción del sistema filtrante</i> .....	79
4.2.4 <i>Ensayos en columnas empacadas a diferentes escalas</i> .....	80
4.2.5 <i>Operación del sistema filtrante</i> .....	81

4.2.6	<i>Obtención de resultados</i> .....	82
4.3	Tratamiento de datos experimentales .....	83
4.3.1	<i>Caracterización del AM</i> .....	84
4.3.2	<i>Análisis multielemental</i> .....	84
4.3.3	<i>Prueba estadística aplicada al AM</i> .....	84
4.3.4	<i>Determinación de las concentraciones elementales</i> .....	85
4.3.5	<i>Determinación de los parámetros a evaluar en huevos de T. canis</i> .....	85
4.3.6	<i>Viabilidad de los huevos de T. canis</i> .....	85
4.3.7	<i>Prueba de hipótesis</i> .....	86
4.3.8	<i>Pruebas en filtros</i> .....	86
4.3.9	<i>Porcentaje de filtración de T. canis</i> .....	86
4.3.10	<i>Porcentajes de pérdida de viabilidad de T. canis</i> .....	87
4.3.11	<i>Toma de Imágenes</i> .....	87
4.3.12	<i>Probabilidad de contacto con plata</i> .....	88
4.3.13	<i>Tortuosidad y avance promedio de operación</i> .....	88
4.3.14	<i>Curva de operación</i> .....	89
4.3.15	<i>Perfil de filtrado</i> .....	90
4.3.16	<i>Análisis estadístico de sistemas filtrantes</i> .....	90
4.3.17	<i>Comparación con los modelos cinéticos</i> .....	90
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	91
5.1	Pruebas efectuadas al AM.....	91
5.1.1	<i>Pruebas físicas del agregado mineral</i> .....	91
5.1.2	<i>Pruebas Fisicoquímicas</i> .....	93
5.1.3	<i>Prueba de Asociación de Olmstead-Tukey</i> .....	97
5.1.4	<i>Límites Máximos permisibles por elemento y capacidad de disolución del AM</i> .98	
5.1.5	<i>Modificación de pH</i> .....	101
5.1.6	<i>Determinación de concentraciones elementales</i> .....	102
5.2	Pruebas de organismos.....	103
5.2.1	<i>Pruebas de viabilidad de lote</i> .....	104
5.2.2	<i>Inactivación causada por el AM en pruebas sin y con agitación</i> .....	109
5.2.3	<i>Respuesta de los organismos a la exposición a los diferentes agentes con contenido de plata empleados</i> .....	114
5.3	Pruebas de filtros .....	118
5.3.1	<i>Porcentaje de filtración de T. canis</i> .....	119
5.3.2	<i>Porcentajes de viabilidad de T. canis en filtros empacados</i> .....	122
5.3.3	<i>Toma de Imágenes</i> .....	126
5.3.4	<i>Probabilidad de contacto con plata, tortuosidad y avance promedio</i> .....	127
5.3.5	<i>Curva de operación</i> .....	128
5.3.6	<i>Perfil de filtrado</i> .....	129
5.3.7	<i>Comparación con modelos cinéticos</i> .....	130
5.3.8	<i>Análisis de los sistemas filtrantes</i> .....	131
6	CONCLUSIONES.....	134
7	RECOMENDACIONES .....	135
8	REFERENCIAS CITADAS .....	136
9	ANEXO I.....	145
9.1	Técnicas de caracterización física y fisicoquímica de los materiales empleados.....	145

10	ANEXO II .....	150
10.1	Técnicas helmintológicas empleadas .....	150
11	ANEXO III .....	151
11.1	Memoria de cálculo del filtro .....	151
12	ANEXO IV .....	162
12.1	Análisis estadístico .....	162
13	ANEXO V .....	179
13.1	Memoria fotográfica y pruebas adicionales .....	179
14	ANEXO VI .....	188
14.1	Diagramas y nomogramas del sistema .....	188

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. MEB de un huevo larvado de <i>T. canis</i> .....	28
Figura 3-2. Huevo sano de <i>T. canis</i> observado al microscopio.....	29
Figura 3-3. Ciclo de vida de <i>Toxocara canis</i> . ....	32
Figura 3-4. Curvas de sobrevivencia para organismos.....	45
Figura 3-5. Comportamiento de un filtro ideal.....	51
Figura 4-1. Metodología empleada.....	54
Figura 4-2. Disección de adulto de <i>T. canis</i> .....	60
Figura 4-3. Obtención de la larva de <i>Toxocara canis</i> .....	63
Figura 4-4. Destino de las muestras obtenidas a partir del lote experimental .....	64
Figura 4-5. Separación de bloques .....	68
Figura 4-6. Metodología empleada en la segunda parte experimental .....	70
Figura 4-7. Sistema de alimentación .....	71
Figura 4-8. Sistema de distribución.....	75
Figura 4-9. Material de empaque usado en los filtros desinfectantes.....	76
Figura 4-10. Filtro desinfectante empacado con AM con granulometrías 2.00 y 0.6 mm .....	78
Figura 4-11. Sistema recolector de filtrados (equipo Millipore).....	79
Figura 4-12. Sistema experimental de filtrado para huevos de <i>T. canis</i> .....	80
Figura 4-13. Pruebas de filtros experimentales de diferentes longitudes .....	81
Figura 5-1. Difactograma del AM (de 0 a 90°) .....	93
Figura 5-2. Difractograma del AM (de 39 a 49°).....	94
Figura 5-3. Composición porcentual total de elementos encontrados en el AM.....	96
Figura 5-4. Resultado del análisis de Olmstead-Tukey para el AM.....	98
Figura 5-5. Pérdida de viabilidad de <i>T. canis</i> por exposición a plata coloidal.....	106
Figura 5-6. Pérdida de viabilidad de <i>T. canis</i> por exposición a granalla de plata ( $Ag^0$ ) .....	107
Figura 5-7. Pérdida de viabilidad de <i>T. canis</i> por exposición a $AgNO_3$ ( $Ag^{1+}$ ).....	107
Figura 5-8. Pérdida de viabilidad de <i>T. canis</i> por exposición al AM ( $Ag^0$ , $Ag^{1+}$ , $Ag^{1+y 2+}$ ) ..	108
Figura 5-9. Pérdida de viabilidad de <i>T. canis</i> por exposición al AM 0.6 mm ( $Ag^0$ , $Ag^{1+}$ y $Ag^{2+}$ ) .....	109

Figura 5-10. Huevo de <i>T. canis</i> expuesto a los diferentes compuestos de plata evaluados a 2 g/L y 120 min observada a MO (40x) .....	115
Figura 5-11. MEB de huevos de <i>T. canis</i> expuestos al AM con agitación ligera a 120 min ..	116
Figura 5-12. filtración obtenida en los sistemas empacados con AM 2 mm y PP en OD y OM para huevos de <i>T. canis</i> .....	119
Figura 5-13. Filtración obtenida en los sistemas empacados con AM 0.6 mm para los huevos de <i>T. canis</i> .....	121
Figura 5-14. Huevos de <i>T. canis</i> recuperados del medio filtrante (AM 2 mm).....	122
Figura 5-15. Huevos de <i>T. canis</i> recuperados del medio filtrante (AM 0.6 mm).....	122
Figura 5-16. Viabilidad obtenida en filtros empacados con AM 2 mm .....	123
Figura 5-17. Viabilidad obtenida en filtros empacados con AM 0.6 mm .....	124
Figura 5-18. MEB de huevos de <i>T. canis</i> en diferentes filtros empacados .....	127
Figura 5-19. MEB de huevos de <i>T. canis</i> .....	128
Figura 10-1. Parte dorso-ventral-anterior de hembra adulta de <i>T. canis</i> (aclarado).....	150
Figura 11-1. Vista y dimensiones a emplearse en el filtro desinfectante .....	161
Figura 13-1. Efecto progresivo experimentado en los huevos de <i>T. canis</i> con plata metálica (MO).....	179
Figura 13-2. Efecto progresivo experimentado en los huevos de <i>T. canis</i> con AgNO <sub>3</sub> (MO)	180
Figura 13-3. Efecto progresivo experimentado en los huevos de <i>T. canis</i> con AM 2 mm (MO) .....	181
Figura 13-4. Efecto progresivo experimentado en los huevos de <i>T. canis</i> con AM 0.6 m (MO) .....	182
Figura 13-5. Curva de mojado para el AM.....	183
Figura 13-6. Avance promedio en AM 2 mm .....	184
Figura 13-7. Tortuosidad promedio en los msistemas filtrantes (10-150 cm) con AM 2 mm	184
Figura 13-8. Avance promedio en AM o.60 mm .....	185
Figura 13-9. Tortuosidad en los sistemas filtrantes (10-30 cm) empleando AM 0.6 mm.....	185
Figura 14-1. Nomograma de desinfección con AM 2 mm sin agitación (Temp= 20-25° C)..	188
Figura 14-2. Nomograma de desinfección con AM 2 con agitación (Temp= 20-25° C).....	189
Figura 14-3. Nomograma de desinfección con AM 0.6 mm sin agitación (Temp= 20-25° C) .....	190

---

---

Figura 14-4. Nomograma de desinfección con AM 0.6 mm con agitación (T= 20-25° C).....	191
Figura 14-5. Curva de OD para AM 2 mm de 10-150 cm para AM 0.6 mm 150-180 cm para pérdida de viabilidad y filtración.....	194
Figura 14-6. Curva de OM para AM 2 y 0.6 mm de 10-150 cm y AM de 150-180 cm para la pérdida de viabilidad y filtración.....	195
Figura 14-7. Perfil de filtrado con respecto al tiempo de operación en OD.....	196
Figura 14-8 Perfil de filtrado con respecto al tiempo de operación en OD.....	197
Figura 14-9. Perfil de filtrado con respecto al tiempo de operación en OM .....	198
Figura 14-10 Perfil de filtrado con respecto al tiempo en OM.....	199

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Estructura general de las capas que componen a un huevo de helminto .....	28
Tabla 3-2. Eficiencias de pérdida de viabilidad en HH reportados para diferentes procesos de tratamientos de lodos.....	38
Tabla 3-3. Factores fisicoquímicos importantes a considerar en la desinfección con plata .....	42
Tabla 3-4. Características ideales que debe poseer un desinfectante. ....	43
Tabla 3-5. Algunos modelos cinéticos comúnmente empleados en procesos de desinfección.	46
Tabla 3-6. Clasificación de filtros en función de la capacidad de tratamiento.....	50
Tabla 3-7. Ecuaciones comúnmente empleadas para describir la filtración.....	53
Tabla 4-1. Contenido de huevos de helminto en agua tratada y en lodos de diferentes países.	62
Tabla 5-1. Propiedades Físicas de los medios de empaque evaluados .....	91
Tabla 5-2. Tipos de roca que componen al AM analizado a partir de difracción de Rayos X..	94
Tabla 5-3. Distribución elemental de dispersión obtenidos para el AM .....	97
Tabla 5-4. Normatividad mexicana (LMP por elemento) aplicable al contenido del AM.....	100
Tabla 5-5. Determinación de pH en la prueba de contacto del AM .....	101
Tabla 5-6. Cantidad elemental promedio de AM empleada en las pruebas de contacto .....	103
Tabla 5-7. Pruebas de determinación de viabilidad del lote muestra .....	104
Tabla 5-8. Pérdida de viabilidad producida en ensayos con y sin agitación (AM 2 y 0.6 mm) .....	112
Tabla 5-9. Ecuaciones de ajuste para pruebas de contacto obtenidas con y sin agitación .....	114
Tabla 5-10. Comportamiento filtrante y de pérdida de viabilidad esperado en filtros de doble capa empacados con AM o PP en condiciones de OD y OM .....	125
Tabla 13-1. Análisis cuantitativo por zonas por MEB con detección de Rayos X (análisis multielemental).....	186
Tabla 13-2. Capacidad de disolución del AM en agua (PAI-EEO).....	187
Tabla 13-3 Límites de detección y cuantificación para (PAI-EEA).....	187

## ACRÓNIMOS EMPLEADOS

AM	= Agregado Mineral
PP	= Perlas Plásticas
ADDE	= Agua Desionizada Destilada y Estéril
PAI	= Plasma de Acoplamiento Inductivo
EEA	= Espectroscopía de Emisión Atómica
EEO	= Espectroscopía de Emisión Óptica
EAS	= Espectroscopía de Absorción Atómica
MEB	= Microscopía Electrónica de Barrido
$\omega$	= Tiempo de contacto
EEOPAI	= Espectroscopía de Emisión Óptica con Plasma de Acoplamiento Inductivo
OD	= Operación de Diseño
OM	= Operación Máxima
LMP	= Límites Máximos Permisibles
HH	= Huevos de Helminto
CA	= Con Agitación
SA	= Sin Agitación
MO	= Microscopía Óptica
MEB	= Microscopía Electrónica de Barrido
SA	= Sin Agitación
CA	= Con Agitación
EOPAI	= Emisión Óptica con Plasma de Acoplamiento Inductivo





## RESUMEN

Los buenos resultados obtenidos por los métodos de desinfección comúnmente empleados en agua residual (cloración, ozonación y UV) durante el siglo pasado, han ocasionado que la búsqueda de alternativas desinfectantes sea prácticamente nula. Sin embargo, evidencias encontradas durante las últimas décadas refieren que ellos disminuyen su efectividad ante organismos que poseen estructuras de resistencia como quistes, esporas y huevos (bacterias, protozoarios, hongos y helmintos), donde muchos de ellos constituyen un problema de salud pública. En el caso particular de los últimos antes mencionados se han establecido límites máximos permisibles de hasta un huevo de helminto por litro para agua residual, los cuales no son suficientes; ya que basta con uno de ellos para provocar una infección. De hecho actualmente, se estima que toda la población se encuentra infectada en mayor o menor grado, donde una de las vías de acceso al hospedero se debe a contacto con agua residual, ya sea de manera directa o indirecta.

El presente trabajo se enfocó al diseño y la evaluación de un filtro desinfectante que busca cumplir un doble propósito: efectuar una pérdida de viabilidad y retener huevos de helminto. Para este propósito, se eligió como medio filtrante un agregado mineral con contenido de plata; elemento que ha demostrado ser un efectivo desinfectante a lo largo de la historia. Lo anterior permite suponer que el uso de metales representa una alternativa viable para la desinfección de aguas residuales. Como organismo de prueba se tomó *Toxocara canis*, ya que es altamente resistente en comparación con otras especies similares y adicionalmente existe un bajo riesgo por manipulación para el ser humano. Para ello, se evaluó primero la capacidad desinfectante de la plata en pruebas de exposición directa a diferentes estados de oxidación ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ), concentraciones (0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1 y 2 g/L) y tiempos de exposición (30, 60, 90, 120, 150 y 180 min en algunos casos). Los resultados indican, para la granalla de plata ( $Ag^0$ ) una máxima de  $55 \pm 0.01\%$ , para el  $AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ )  $65.3 \pm 6.1\%$ . Para el AM ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) en dos granulometrías (2.00 y 0.6 mm) presentó un  $82.0 \pm 0.7$  y  $92.6 \pm 0.7\%$ , donde el comportamiento de éstos últimos es similar a partir de los 120 y 90 minutos. Asimismo, se encontró en las pruebas con agitación hasta un 21.4% más de pérdida de viabilidad en comparación a las efectuadas sin ella. En síntesis, los huevos de *T. canis* para todos los agentes probados registran una pérdida de viabilidad dependiente de las concentraciones y tiempos de contacto. Cabe señalar que, en el caso de la plata coloidal ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ) no se afectó la viabilidad al aplicar la dosis sugerida por el fabricante e inclusive con el agente sin diluir. Con esta información, se diseñó y evaluó un filtro que resultó tener con una longitud total de 180 cm, con un arreglo granulométrico de 150 cm (2 mm) y en la parte inferior de 30 cm (0.6 mm), la cual tiene como objetivo dar un pulimento al proceso. Las condiciones de operación evaluadas fueron dos: operación de diseño (OD) con un TRH 120.4 min y  $Q= 1.2$  L/d y operación máxima (OM) con TRH= 3.52 min y  $Q= 40.6$  L/D. Se encontró para la filtración y para la pérdida de viabilidad un 100% para ambos tipos de operación, la cual se presentó a una profundidad de 90 y 140 cm, respectivamente y para la última ocurrió en ambos casos a 140 cm. De igual forma, se registró un tiempo de permanencia promedio para el huevo de 19.8 días y 15.3 días. Adicionalmente, se evaluó un filtro empacado con perlas plásticas

(PP), el cual funcionó como testigo y en él no ofreció ningún efecto sobre la pérdida de viabilidad e inclusive ningún efecto filtrante (0%) en ambas condiciones de operación. De acuerdo con las condiciones de operación evaluadas, se estima que el costo total del filtro experimental es de \$8.00, con un tiempo de saturación de 39 y 9.77 años y uno de agotamiento de 85.81 y 68.31. El tiempo de mantenimiento se estima que sea por periodos de 10 años (25% de saturación), el cual podría ser efectuado por el mismo usuario, ya que el filtro es de fácil desmontaje, con un peso total de 0.495 kg.

## 1 INTRODUCCIÓN

El exceso de agua empleada en las actividades antropogénicas ha ocasionado la sobreexplotación acelerada de las fuentes naturales, disminuyendo con ello su disponibilidad, lo cual ha obligado a buscar mecanismos alternos que subsanen las deficiencias de un modelo de manejo del agua que ha resultado deficiente, donde una de las soluciones a corto y mediano plazo está constituida por el reúso de recursos.

El agua una vez empleada incorpora desechos tales como: lípidos, proteínas, grasas, agentes de limpieza, así como compuestos nitrogenados y excretas, los cuales contienen organismos dañinos, entre los que se encuentran bacterias, protozoarios, hongos y helmintos. Por lo tanto, para brindar la posibilidad de reutilización del agua residual, se somete a tratamientos depurativos de naturaleza física y química en las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR). Sin embargo dichos tratamientos no son eficientes para eliminarlos. Por ello es importante considerar un proceso de desinfección adecuado con el fin de delimitar un problema de salud pública que se pudiera generar (DDF, 2008).

Desinfectantes como la luz UV, cloro y ozono han resultado efectivos para algunos organismos con baja resistencia ( algunas bacterias, protozoarios, hongos) , sin embargo no lo han sido los que poseen estructuras de resistencia, lo cual se señala en USEPA, (1998), (1999a, b y c), así como en Ayala (2007). Por ello es importante continuar con la búsqueda de alternativas desinfectantes que sean capaces de eliminar a los organismos de baja y alta resistencia (Ocampo *et al.*, 1992).

Una de las opciones está constituida por el uso de plata como agente desinfectante, sobre la cual existen registros de su empleo en varias civilizaciones (griegos, chinos, persas, entre otras) desde hace más de 4000 años (Ferrer *et al.*, 1998) hasta nuestros días; particularmente en forma de plata metálica y coloidal.

De acuerdo con lo anterior la presente tesis se enfoca en la implementación de una propuesta de desinfección no convencional empleando agregados minerales naturales con contenido de plata con diferentes estados de oxidación (con diferente capacidad de desinfección), los cuales no poseen ningún valor en el lugar de extracción, ni comercial, ya que tienen bajas cantidades del metal.

Con su uso, se busca reunir las propiedades ideales de un desinfectante señaladas en Metcalf y Eddy (2004) como: toxicidad específica, estabilidad, solubilidad, baja o nula interacción con el medio, no corrosivo, no colorante, de fácil disponibilidad, efectivo en bajas concentraciones, seguro al manejo y transportación y de fácil uso. De igual manera, se plantea el uso de un sistema filtrante que combine un proceso de filtrado y desinfección para ser empleado en particular para helmintos, pero que adicionalmente funcione para otros organismos de alta y baja resistencia.

Con ello se busca que la combinación ofrecida por los tipos de roca que componen al AM, así como por los metales contenidos dentro de la matriz mineral, favorezcan la capacidad desinfectante del sistema, que adicionalmente con una granulometría adecuada y un contenido de agentes que favorezcan un efecto desinfectante permitan la retención y la pérdida de viabilidad del organismo. Adicionalmente algunas ventajas que proporciona el material son que es de fácil disponibilidad, manejo y operación, así como una baja inversión, mantenimiento y por último que sea de una alta durabilidad.

## 2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### HIPÓTESIS

$H_0$  = % de huevos larvados = % de la viabilidad del lote

Los agregados minerales con contenido metálico no contribuyen a la pérdida de viabilidad en los huevos de *T. canis*.

$H_1$  = % de huevos larvado  $\neq$  % de la viabilidad del lote

Los agregados minerales con contenido metálico contribuyen a la pérdida de viabilidad en los huevos de *T. canis*.

Así entonces, si se acepta  $H_1$  puede ser diseñado un método con base a agregados minerales (AM) para favorecer la pérdida de viabilidad en huevos de *T. canis*, el cual se puede evaluar y en su caso extrapolar a otras especies de helmintos de interés ambiental.

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Realizar el diseño y evaluación del funcionamiento de un filtro empacado con agregados minerales con contenido de plata para filtrar y favorecer la pérdida de viabilidad de huevos de helminto a nivel laboratorio, empleando como modelo *Toxocara canis* (Werner, 1782).

#### Objetivos particulares

- Determinar la capacidad de desinfección de la plata en diferentes estados de oxidación ( $Ag^0$ ,  $Ag^{+1}$ ,  $Ag^{+2}$ ) a través del porcentaje de pérdida de viabilidad de *T. canis* a diferentes concentraciones y tiempos de contacto.
- Determinar la capacidad de desinfección de los agregados minerales (AM) a través del porcentaje de pérdida de viabilidad de *T. canis* a diferentes granulometrías, concentraciones y tiempos de contacto.

- Obtener criterios de diseño útiles para la conceptualización, diseño y construcción de un filtro desinfectante mediante la determinación de concentración de plata, granulometría y tiempo de contacto necesarios para promover el efecto filtrante y la pérdida de viabilidad para dichos huevos de helminto.
- Evaluar la efectividad de un filtro desinfectante a escala laboratorio empacado con agregado mineral (AM) empleando huevos de *T. canis* a través de los parámetros de control (filtración y pérdida de viabilidad).

### Alcances y limitaciones

- Se determinó la capacidad de desinfección de la plata en sus diferentes estados de oxidación mediante pruebas de contacto con los huevos de *T. canis*. Para ello, se empleó plata coloidal ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ), granalla de plata ( $Ag^0$ ),  $AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ ) y un AM ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ,  $Ag^{2+}$ ) a una concentración de 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 y 2 g/L a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos).
- En el caso del AM solo se emplearon dos granulometrías 2.00 y 0.6 mm, a las cuales se efectuaron las pruebas de contacto con y sin agitación, bajo las condiciones de tiempo y concentración antes señaladas.
- El sistema filtrante se diseñó con base a los valores obtenidos de tiempo de contacto, concentración y capacidad máxima de pérdida de viabilidad ofrecida por el AM, mientras que operativamente responde a la capacidad de obtención, evaluación, interpretación y revisión de resultados.
- El filtro resultante fue operado en dos condiciones: Operación de diseño (OD), que se efectuó de acuerdo parámetros de diseño y operación máxima (OM), la cual consistió en la apertura total de todas las válvulas. Ambas se efectuaron durante 10 días de operación o hasta recuperar todos los huevos insertados en el sistema.

- Se utilizó como testigo un filtro empacado con perlas plásticas bajo las condiciones referidas anteriormente.
- Se empleó un solo lote de huevos de *T. canis*, el cual fue obtenido del útero de una hembra adulta. Ello no asegura la madurez ni la viabilidad de todos los huevos al momento preciso de efectuar las pruebas.
- La variable de respuesta evaluada en todos los casos fue la obtención de la larva a través de un proceso de incubación inducido, el cual consistió en su mantenimiento bajo condiciones de  $H_2SO_4$ , 0.01 N y 26-28° C durante cuatro semanas.
- Los ensayos realizados solo fueron evaluados para *T. canis*, por lo cual no se sabe su comportamiento exacto en otras especies de helmintos.
- El agua empleada en todos los experimentos efectuados fue destilada, desionizada y estéril, por lo cual se desconoce su comportamiento con algún otro tipo de agua.

### 3 MARCO DE REFERENCIA

A partir del siglo XIX se observó un incremento de los asentamientos urbanos, así como de la población mundial y con ello de consumo de agua, mientras que el volumen disponible era exactamente el mismo. Con ello, factores como la ubicación de las urbes, cercanía de las fuentes y consecuentemente la baja disponibilidad de agua *per cápita* obligó a los gobiernos a tomar medidas a mediano y largo plazo; gestionando así su abastecimiento, uso y disposición. Todos ellos con problemáticas particulares, donde para la realización de éste último se requieren de procedimientos especializados para manejar su contenido, la disponibilidad de espacios para su tratamiento y aseguramiento de su inocuidad en los distintos destinos finales, que en muchos casos resultan ser cuerpos naturales (Magaña. 2007a).

Para las primeras civilizaciones el concepto de calidad del agua no era muy claro ya que se basaban principalmente en las propiedades organolépticas (color, olor y sabor) siendo el agua limpia la clara, mientras que al agua pantanosa o lodosa era considerada como sucia. Dicho concepto ha cambiado radicalmente, ya que actualmente existen técnicas con mayor alcance, donde es importante destacar que la normatividad desarrollada al momento resulta insuficiente porqué que el efecto que los vertidos producen se desconoce, ya que a menudo ellos resultan visibles a mediano o largo plazo y a que adicionalmente paulatinamente se generan nuevos compuestos que la normatividad no contempla.

A lo largo de la historia se han registrado severos episodios epidemiológicos, donde a través de avances en el área microbiológica se encontró que existían enfermedades producidas por organismos, las cuales eran difundidas hídricamente como tifoideas, cólera, hepatitis, esquistosomiasis, parasitosis, disentería amebiana y bacilar, entre otros. Uno de ellos, el cual es particularmente importante y ocurrió en Londres en 1854, donde por primera vez se concluyó que el bombeo de agua contaminada era la responsable de la ocurrencia de algunas enfermedades en éste lugar (Metcalf y Eddy. 1996). Dicha afirmación realizada por John Snow sentó las bases del estudio formal de la ingeniería ambiental y permitió un avance fundamental en el estudio de la desinfección misma, dejando con ello el empirismo e iniciando su estudio de manera seria.



Actualmente la desinfección es un proceso o en su caso operación unitaria que busca obtener una relación adecuada entre la calidad del agua y la sanidad mediante la eliminación de organismos o en su caso determinado por un límite máximo permisible (LMP), tal que los remanentes no presenten un peligro potencial.

### **3.1 Organismos de importancia en la desinfección**

Es cierto que los organismos de baja resistencia como algunos virus bacterias, protozoarios, hongos no resultan problema para los desinfectantes actuales, pero como ya ha sido mencionado anteriormente los métodos de desinfección comúnmente empleados en las PTAR han demostrado no ser eficientes contra algunos organismos. Sobsey (2002) refiere una escala de resistencia en organismos encontrados usualmente en agua residual, dentro de los cuales ubica a los huevos de helminto como los de mayor resistencia, seguidos de quistes y oocistos de protozoarios > esporas bacterianas > bacterias ácido-alcohol resistentes (*Mycobacteria* sp., *Corynebacterium* sp., y *Nocardia* sp., por mencionar algunos) > virus entéricos > bacterias.

#### **3.1.1 Resistencia de helmintos**

Jiménez (2007) se señala que los huevos de helminto son considerados como los organismos con mayor resistencia biológica dentro de la ingeniería ambiental, lo cual se debe a la gran cantidad de capas de protección que posee (tres a cuatro); una capa externa lipoprotéica irregular inmersa en una trilaminada de la misma composición y que funciona para adhesión y como barrera para regular el paso de nutrimentos al interior del tegumento, una quitinosa con grosor variable que da una alta resistencia mecánica en la cual se disuelven los disolventes orgánicos y por último una capa vitelina que le confiere resistencia y adicionalmente la protege contra la desecación, acidez extrema, agentes oxidantes y detergentes, entre otros.

La permeabilidad existente en dicho estadio es mínima y solo se limita a funciones de homeostasis, tanto de gases (respiración) como de líquidos (osmorregulación), la cual aumenta a medida que el organismo madura, ya que requiere de un mayor espacio, así como de contacto con el medio.

### 3.1.2 Elección del organismo de prueba

- Se empleó como organismo genérico de helminto a *T. canis*, debido a su gran dispersión, prevalencia a nivel mundial (De la Fé *et al.*, 2006), así como a la asociación del organismo a asentamientos humanos (como se señalará adelante en el punto 4.3.4).
- Las condiciones de resistencia dadas por el huevo de *T. canis* son mayores al contar con cinco capas de protección (Aycicek *et al.*, 2001), que la ofrecida por algunos otros de mayor abundancia y prevalencia dentro del agua residual que cuentan con tres o cuatro (*Ascaris* spp., *Trichuris trichiura*, *Enterobius vermicularis*, *Taenia solium*, por mencionar algunos).
- La capacidad infectiva por manipulación y por contacto accidental son menores que la de algunos otros con mayor importancia a nivel ambiental que en las especies referidas anteriormente.
- La pérdida de viabilidad mostrada es gradual como se observa en la Tabla 5-7 y no repentina como la registrada por otras especies como *Ascaris* sp. (García *et al.*, 2008). Dicha ventaja garantiza el uso del mismo lote para todo el trabajo y la posibilidad de realizar una comparación entre los resultados obtenidos durante los experimentos realizados.

### 3.1.3 Helmintiasis y morbilidad

La WHO (1987) los considera de especial importancia, definiendo su padecimiento como “helmintiasis” (infestación por uno o más organismos de tipo gusanoide (helminto) desarrollados en un hospedero), donde los nemátodos, céstodos y tremátodos son los principales organismos responsables, provocando graves enfermedades con repercusiones socioeconómicas y de salud pública (UNESCO, 2009). De hecho, las instituciones de salud públicas (IMSS e ISSSTE) las ubican dentro de las primeras 20 causas de cuadros clínicos (Ximénez, 2010). Algunos organismos especializados como la WHO, el Instituto Nacional de Salud Pública [INSP] (2008), Secretaría de Salud de México y algunos otros pertenecientes a países en vías de desarrollo señalan que el mayor impacto se observa en la

denominada población sensible (niños, personas mayores y en la población con sistema inmunológico débil); donde las condiciones de pobreza, carencia de servicios y limitada sanidad son comunes, alcanzando con ello índices de incidencia superiores al 90% (Bratton y Nesse, 1993; Jiménez, 2007 y WHO, 2009). A pesar de ello, la patogenicidad no necesariamente se encuentra ligada a éstos factores, sino que también ha sido relacionada con hábitos, costumbres, higiene y factores socioeconómicos. Lo anterior sugiere que la combinación de ellos influyen para contraer algún organismo o para potencializar su manifestación clínica (Vásquez *et al.*, 2002).

A nivel mundial se estima que cinco millones de personas lo presentan a niveles extremos (hiperhelmintiasis e hiperparasitosis), mientras que a nivel moderado (sin presentar sintomatología) son entre 800 y 1100 millones (Jiménez, 2007; Vásquez *et al.*, 2002 y WHO, 2009) y el 80% restante de la población lo padece a nivel ligero. Dentro de las cuales algunas especies comunes reportadas a pesar de la distancia en los trabajos son: *Taenia solium*, *Ancylostoma duodenale*, *Ascaris* spp., *Enterobius vermicularis*, *Necator americanus*, *Onchocerca volvulus*, *Trichuris trichiura* y *Schistosoma* sp. (Jiménez, 2007 y Warren, 1990)

La sintomatología mostrada por cada especie es diferente y muchas veces es confundida en consulta médica con otros padecimientos, debido a que los cuadros clínicos son comunes con otras enfermedades. Algunas de las manifestaciones típicas son: hemorragias, coagulación deficiente, reacciones alérgicas a medicamentos, comida o ambiente, fiebre, urticaria, asma, dolor abdominal, meteorismo, náusea vómito, diarrea e inclusive cuadros de anemia. A pesar de que la mortalidad es baja, sus consecuencias disminuyen la calidad de vida del hospedero al tener implicaciones en su desarrollo, crecimiento físico y mental.

#### **3.1.4 *Toxocara canis***

Es un nemátodo perteneciente a la familia Ascaridae, del género *Toxocara* (Anderson *et al.*, 1979 y Brusca y Brusca, 2002). Actualmente a nivel mundial se encuentran reportadas 24 especies que a continuación se enlistan, así como algunos sitios donde han sido reportados: *T. alienata* (Rudolphi, 1819) en Brasil, *T. apodemi* (Olsen, 1957) en Pup'yongni, Corea, Changsa y Hunan en China, *T. canarisi* (Puylaert, 1967) en Kenia, *T. canis*

(Werner, 1782) (= *T. vulpis* Froelich, 1789), de carácter cosmopolita, *T. cati* (Schrank, 1788) también cosmopolita, *T. cynonycterides* (Parona, 1889) en Myanmar, *T. elephantis* (Rudolphi, 1889) en Austria y E.U.A. (conocido solamente en animales en cautiverio), *T. genettae* (Warren, 1972) en Transkei, Sudáfrica y España, *T. hippopotami* (Canavan, 1931) en Uganda, *T. indica* (Naidu, 1981) en Nagpur, India, *T. lyncis* (Macchioni, 1999) en Somalia, *T. mackerrasae* (Sprent, 1957). Queensland, Australia, *T. malaysiensis* (Gibbons, 2001). Malasia, *T. manzadiensis* (Vuilsteke, 1956). Congo, *T. paradoxura* (Kou, 1958) en Kwangtun, China, *T. pearcei* (Chitwood, 1935) en Estados Unidos, *T. pteropodis* (Baylis, 1936) en Espiritu Santo, Nueva Hebrides; Florida, Estados Unidos; Queensland, Australia, *T. sprengi* (Warren, 1972) en Bangkok, Tailandia, *T. suricattae* (Ortlepp, 1940) en Carolina, EUA y Sudáfrica, *T. tanuki* (Yamaguti, 1940) en Kyoto, Japón, *T. vajrasthira* (Sprent, 1972) en Nahkon Nuok, Tailandia, *T. vincenti* (Puylaert, 1967) en Brazzaville, Congo, *T. vitulorum* (Goeze, 1782) en regiones tropicales y subtropicales, *T. warreni* (Durette y Chabaud, 1974) en Booné, Gabón. (De la Fé *et al.*, 2006).

La variabilidad entre *Toxocara* spp. tiene como base la morfología de los labios, las aletas cervicales, la longitud de las espículas y algunas características del aparato reproductor femenino. (Duménigo y Lao; 1994 y Nestor *et al.*, 2000). La helmintiasis se presenta generalmente en perros, felinos, conejos, murciélagos búfalos y ganado entre otros (Reyna-Figueroa *et al.*, 2007). Los hospederos definitivos se encuentran asociados a asentamientos humanos, donde gran parte de los lugares señalados anteriormente presentan problemas relacionados con la higiene. Por lo tanto, se puede asumir que un factor importante para que el género presente una amplia distribución y segregación, está relacionada principalmente con la capacidad de infección del helminto y con la relación existente con las costumbres, prácticas y relaciones del hombre y los hospederos antes mencionados.

Como se menciona en De la Fé *et al.* (2006), existen tres especies ampliamente distribuidas: (*T. canis*, *T. cati* y *T. vitulorum*), las cuales de manera general causan la mayoría de las infecciones en perros y otros cánidos. Se tienen porcentajes reportados de prevalencia que varían de entre 3 a 46 % en diferentes países latinoamericanos. En Argentina de 18 %, en Irlanda 31%, en Cuba se reporta desde un 17.9 hasta 42.2 % y en Estados Unidos un 12.5 %, por mencionar algunos (Quiroz, 1984 y Reyna *et al.*, 2007),

aunque en muestras de suelo en parques públicos en diferentes países y regiones analizadas por el *Institute for International Cooperation in Animal Biologics* (2008) se reporta una incidencia de *Toxocara* spp. que va del 2 a 88%, constituyendo así uno de los padecimientos parasitarios con mayor frecuencia.

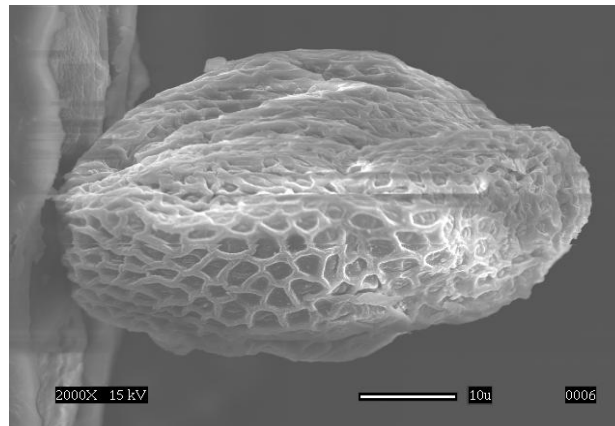
Lo anterior se explica de la siguiente manera: el perro siempre ha sido y será un componente importante dentro de la familia humana. En el medio rural es empleado para labores de seguridad y trabajo de pastoreo entre otras, en tanto que, en el medio urbano principalmente se encuentra como animal de compañía. La estrecha convivencia con ellos, aunado a una población canina en franco incremento, donde las formas de crianza han superado a las correspondientes normas de higiene; especialmente a aquellas referidas al manejo de las excretas, constituyen por sí mismas un mecanismo altamente efectivo de supervivencia y diseminación para el helminto, generando por lo tanto niveles importantes de toxocariasis (infección zoonótica producida por *Toxocara* sp.) (Reyna *et al.*, 2007).

#### 3.1.4.1 Adultos

Los machos miden de 4-10 cm de largo x 2.0-2.5 mm de diámetro, mientras que las hembras de 15-18 cm. x 2.5-3.0 mm. Ambos son de forma cilíndrica, color blanco y poseen una cutícula relativamente gruesa en comparación a otros gusanos de otros grupos taxonómicos de helmintos. En la parte anterior posee extremos puntiagudos con tres labios bien desarrollados en la boca, los cuales son de color rosa claro-nacarado (uno dorsal y dos subventrales provistos de dos papilas). En general las especies del género *Toxocara* presentan aletas cervicales a lo largo de las márgenes laterales extendiéndose por todo el extremo anterior, mientras que en su extremo posterior el macho termina curvado hacia la parte ventral y presenta dos pequeñas espículas iguales, así como un estrechamiento terminal en forma de apéndice, mientras que en las hembras la vulva se abre en la región media del cuerpo (Anderson *et al.*, 1974; De la Fé *et al.*, 2006).

### 3.1.4.2 Larvas

Las larvas miden aproximadamente de 0.4 mm de longitud y 0.020 mm de diámetro (De la Fé *et al.*, 2006). Cabe destacar que a medida de que se desarrolla la larva al interior del huevo, éste pierde su forma, lo cual se observa en la Figura 3-1.



**Figura 3-1. MEB de un huevo larvado de *T. canis***

### 3.1.4.3 Huevos

En general la pared de los huevos de helminto tienen cuatro capas como se señala en A partir de De la Fé *et al.* (2006) (Tabla 3-1), aunque algunas especies no presentan la capa uterina, ni capa vitelina, supliéndola con un mayor grosor en sus capas de protección externa. La composición se detalla a continuación:

**Tabla 3-1. Estructura general de las capas que componen a un huevo de helminto**

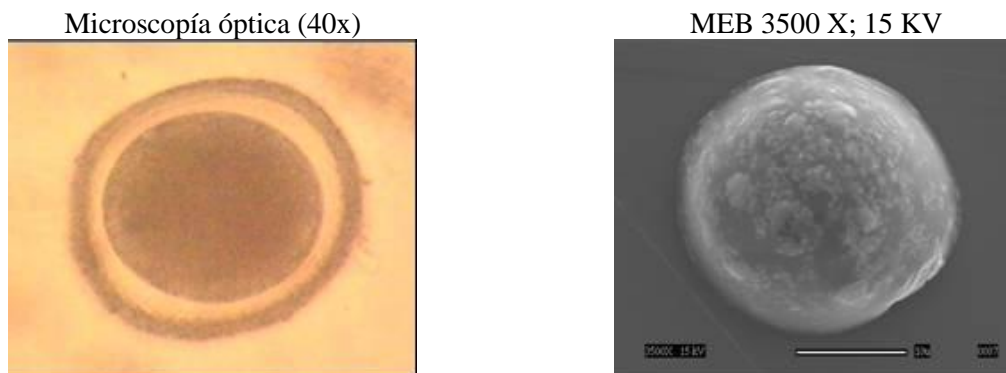
Pared	Composición	Función
Capa interna Lipídica	Lípidos Proteínas	Permeabilidad y protección al embrión
Capa Quitinosa	Quitina Proteínas	Estructura de Resistencia
Capa Vitelina	Lipoproteínas	Adhesión Brindar rigidez Resistencia mecánica
Capa externa Uterina	Mucopolisacáridos Proteínas Lípidos	Adhesión Intercambio gaseoso

De acuerdo con De la Fé *et al.* (2006), los huevos son esféricos, color café oscuro o grisáceo, de 70 a 90  $\mu\text{m}$  de diámetro. Su cubierta consta de cuatro capas: la interna de lípido, una capa quitinosa triple, y la más externa es proteica; principalmente constituida por albúmina, la cual presenta depresiones sobre la superficie llamadas “fosetas”; que carece de capa vitelina. Aunque en Aycicec *et al.* (2001) se señala que las tres estructuras realmente se pueden dividir en cinco.

A dicha conclusión se llegó mediante un análisis ultraestructural del huevo, los cuales se señalan a continuación (empezando desde adentro) y son:

- a) Una zona lamelar formada por la superposición de cuatro o cinco capas fibrosas 0.60  $\mu\text{m}$  en promedio de espesor.
- b) Una capa granular electro-densa con un ancho promedio de 0.35  $\mu\text{m}$ , exteriormente es regular, pero en su parte interior se observa dentado.
- c) Una pequeña capa vitelina la cual sigue el contorno de las crestas y las depresiones de la capa subyacente.
- d) Una membrana delgada de uterina; ocasionalmente con foetas.

Con lo cual se concluye que el huevo de *T. canis* sí posee una cubierta vitelina y también una adicional que le proporciona una alta protección en contra del estrés ambiental. De hecho se ha registrado una viabilidad silvestre de cuatro años, aunque algunos autores señalan una viabilidad de hasta diez años (De la Fé *et al.*, 2006). En la Figura 3-2 se observa el huevo sano a diferentes microscopías, con un núcleo y cubierta externa consistente y perfectamente definido, así como una forma esférica y lisa.



**Figura 3-2. Huevo sano de *T. canis* observado al microscopio**

### 3.1.5 Ciclo de vida

El ciclo de *T. canis* es indirecto, ya que puede incluir la participación de hospederos intermediarios e inclusive de algunos que pueden funcionar como paraténicos, los cuales permiten el desarrollo parcial del helminto; siendo ésta una adaptación para garantizar la supervivencia y transmisión a sucesivas generaciones de sus hospederos intermediarios y eventualmente del definitivo.

La relación helminto-hospedero es estrecha y esto puede ser inferido ya que muchas veces existen ciclos de vida acoplados. Lo cual denota una alta adecuación etiológica del helminto con el hospedero. (Kennedy, 2005).

El ciclo de vida (Figura 3-3) se inicia cuando las hembras de *T. canis* depositan sus huevos en el intestino delgado del hospedero, los cuales son liberados con las heces (en forma de huevo) y que tienen una alta viabilidad, así como resistencia de inclusive años, ya sea en el ambiente o en un hospedero que le brinde condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxígeno. Así entonces se desarrollará al siguiente estadio conocido como la larva L-2 (aún dentro del huevo).

Los perros (hospedero definitivo) adquieren la toxocariasis de varias formas: por ingestión de huevos embrionados, infección intrauterina por el paso de L2 de la placenta al feto, ingestión de L2 viables en la leche materna así como de L3 contenidas en las heces de los cachorros, donde éstas últimas no requieren de la migración hepato-pulmonar para llegar a su madurez. En los cachorros menores de tres meses, las larvas pasan por vía linfática o sanguínea a los ganglios linfáticos o al hígado, donde continúan su migración al corazón y pulmones. En algunos casos las larvas pasan por los bronquios, tráquea y esófago, mientras que intestino delgado se realiza la siguiente muda dando lugar a la cuarta larva la cual crece y cópula. De cuatro a cinco semanas después se cierra el ciclo al liberar nuevamente los huevos a través de las heces (De la Fé *et al.*, 2006).

En caso de que los huevos de *T. canis* sean ingeridos por hospederos no cánidos, las larvas penetran al epitelio mucoso; pero tiempo después quedan en una fase de desarrollo restringido en el tejido. No obstante que las larvas no muestran un desarrollo o diferenciación morfológica, son incapaces de completar su ciclo de vida y mantienen un metabolismo activo mostrando un comportamiento migratorio regularmente hacia el



músculo y tejido nervioso. Sus recorridos por todo el cuerpo en esta fase y dan como resultado el estado clínico denominado “larva migrans visceral” o “larva migrans ocular”.

Los gusanos adultos viven aproximadamente cuatro meses en la porción proximal del intestino delgado. Las hembras adultas producen una cantidad de huevos por día (hasta 1.5 millones) Éstos huevos no son embrionados y por lo tanto no son infectivos. En condiciones favorables los huevos depositados en el suelo lo hacen en un período de dos a seis semanas, los cuales constituyen la forma infectiva para el perro y otros hospedadores, incluido al hombre que también la puede adquirir, donde es común encontrarlos en agua residual, alimentos mal lavados y callejeros y en parques públicos.

Existe otra vía, la cual es de tipo perinatal, en la cual los huevos ya con el embrión pasan al duodeno, eclosionan y liberan larvas de segundo estadio (L2) las cuales atraviesan la pared duodenal y alcanzan el hígado, a través del sistema porta llegan al corazón y de ahí a los pulmones, posteriormente ascienden por el tracto respiratorio ya convertidas en larvas de tercer estadio (L3), estas son deglutidas y pasan nuevamente al intestino delgado donde sufren la cuarta y última muda que constituye el paso a la fase adulta. El macho y la hembra copulan, esta última pone huevos que salen con las heces. En los adultos este ciclo se cierra en muy pocos casos debido a que las L2 se quedan en los tejidos.

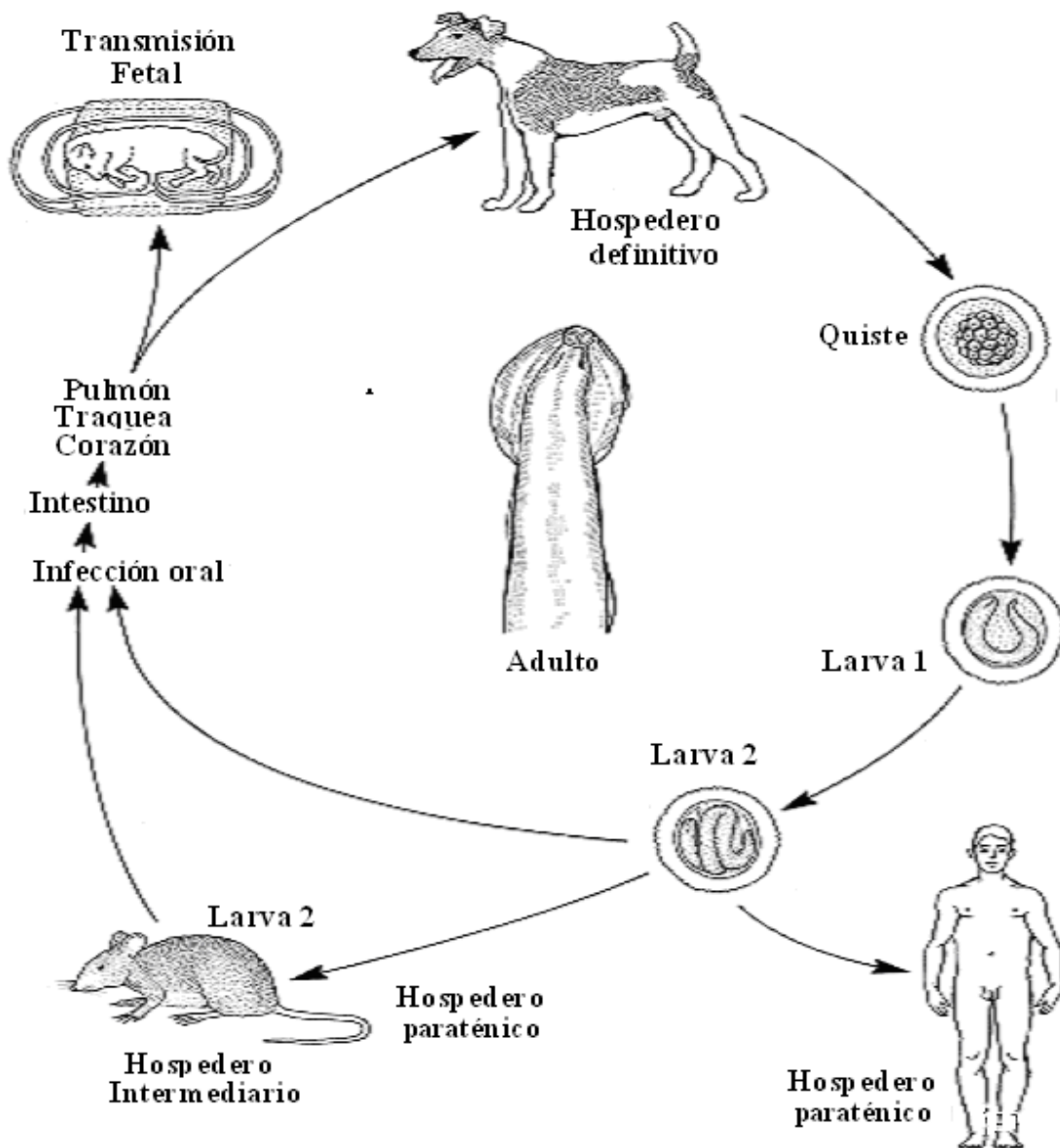


Figura 3-3. Ciclo de vida de *Toxocara canis*. De la Fé et al., (2006)

### 3.2 Desinfección

La normatividad mexicana la señala dentro de la NOM-127-SSA1-1994 y la define como “la destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos”. Por su parte la NOM-001-SEMARNAT-1996 solo considera organismos patógenos a aquellos que pueden estar presentes en el agua residual y que representan un riesgo para la flora, fauna y la salud humana, aunque de hecho, ella solo regula coliformes (fecales y totales) y parasitarios (quistes y huevos de helminto), que

estrictamente solo constituyen una porción limitada de la comunidad que habita la columna de agua.

El proceso de desinfección intenta eliminar a todos los organismos presentes sean o no patógenos con el propósito de proteger la calidad del agua y posibilitar sus usos posteriores. A pesar de ello no todos los métodos comúnmente empleados eliminan a todos los organismos patógenos, tal es el caso de los huevos de helminto por mencionar algunos. Jiménez (2007) señala que el contenido de huevos de helminto (h) en México va de 1-98 h/L para áreas rurales, aunque también menciona que a Latinoamérica se encuentran hasta 3000 h/L, donde el LMP nacional permitido y que se señala en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola) es de un h/L para riego no restringido y de cinco h/L para riego restringido. Por su parte la NOM-003-SEMARNAT-1997 establece como LMP  $\leq 1$  h/L para reúso en servicios públicos con contacto directo y  $\leq 5$  h/L para servicios al público con contacto indirecto u ocasional. Pero es importante señalar que solo se necesita un huevo para adquirir una helmintiasis. Así como éste ejemplo existen otros organismos que constituyen un problema de salud pública y que se transmiten vía hídrica. Es por ello que en la actualidad se continúan evaluando diferentes agentes que incrementen el poder germicida.

### **3.2.1 Mecanismos de acción de los desinfectantes**

Algunos de los desinfectantes empleados comúnmente basan su poder de acción en la capacidad de oxidación, donde ellos suelen ser agentes con mayor capacidad oxidante que el oxígeno como: cloro y ozono. Otros emplean la capacidad de desestabilización molecular que pueden inducir sobre los organismos a los cuales pretenden eliminar; tal es el caso de la luz ultravioleta. Cabe señalar que la selección del agente desinfectante obedece a factores tales como: el tamaño, calidad del caudal a tratar, ubicación y tamaño de la planta, costos, tipo de operación, disponibilidad del agente, eficiencia del tratamiento previo, mientras que en cuestión del organismo depende de las características físicas, químicas e inclusive biológicas. En USEPA (1999a, b y c) se señalan las principales ventajas y desventajas que tienen los métodos desinfectantes empleados comúnmente.

En Miranda (2005), se recopilan cinco mecanismos que explican el fenómeno de la desinfección, los cuales incluyen daño a las estructuras de protección, intervención a las vías metabólicas, así como en la síntesis y desempeño de macromoléculas. A continuación se describe a cada uno de ellos:

a) **Daño a la pared celular**

Ocurre al unirse el agente desinfectante a las proteínas de la pared celular, provocando lisis y como consecuencia la muerte del organismo.

b) **Alteración de la permeabilidad vía membrana celular**

Algunas sustancias tienen la capacidad de alterar la membrana al afectar la permeabilidad selectiva, modificando la homeóstasis y liberando fácilmente nutrientes clave como nitrógeno y fósforo.

c) **Alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma**

El calor y los agentes con pH extremos afectan irreversiblemente al material celular, al desnaturalizar y coagular las proteínas. Por su parte los agentes extremadamente ácidos o alcalinos alteran la naturaleza coloidal del protoplasma, impactando de la misma manera a las proteínas.

d) **Inhibición de la actividad enzimática**

Los agentes desinfectantes pueden alterar la estructura química de las enzimas dando lugar a una inactivación que puede ser explicada por el modelo denominado “llave-cerradura”.

e) **Remoción de grupos sulfhidrilo (-SH)**

Algunas proteínas contienen dentro de su estructura azufre, donde ellas no pueden actuar a menos que los grupos -SH permanezcan libres y reducidos. Si el grupo es oxidado ocurre un daño irreversible a nivel protéico, inhibiendo con ello su posterior transcripción, donde en muchos casos el daño es irreversible ocasionando con ello la muerte del organismo.

### ***3.2.2 Mecanismo de acción en la pérdida de viabilidad en helmintos***

Hay evidencia de que los iones del desinfectante atacan a los radicales de la superficie de la cubierta, con lo cual se daña la respiración celular mediante el bloqueo de la transferencia electrónica, lo que impide el intercambio de energía metabólica y por ende la de la actividad de las vías anabólicas o catabólicas. Otra explicación está basada en la naturaleza

de la modificación de enzimas específicas, las cuales son requeridas para que la actividad bioquímica (usualmente de tipo rédox) se lleve a cabo (Orta *et al.*, 2008).

En el caso de metales se observa que las moléculas enzimáticas encargadas del transporte usualmente requieren un átomo metálico específico como parte de su matriz molecular para llevar a cabo su funciones básicas (Voet *et al.*, 2006), donde un metal con una mayor valencia o una mayor afinidad puede sustituir a uno con una menor valencia en un complejo enzimático, impidiendo con ello el funcionamiento normal de la enzima. En el caso específico de la plata con una valencia 2+ puede reemplazar muchos metales con valor más bajo o de igual valencia que muestran propiedades de adhesión más débiles.

En Aguilar *et al.* (2006) se menciona que la inactivación del huevo por la plata es consecuencia de la formación de sulfoaminoxidasas, las cuales son favorecidas por el rompimiento del tegumento externo del huevo de helminto. Aunque también se sugiere que la inactivación se puede dar por la penetración natural a través de las fisuras o fracturas existentes en él. Lo anterior favorece la penetración del metal inclusive hasta un nivel nuclear; ocasionando daño estructural que eventualmente es irreparable con lo que impacta de manera directa en la viabilidad del mismo.

A partir de lo señalado en Voet *et al.* (2006), donde se menciona que las funciones metabólicas se desarrollan en condiciones promedio y que cambios bruscos de temperatura tienden a la desnaturalización de los compuestos se puede sugerir que una explicación consiste en que los mecanismos basados en cambios térmicos derivan en la desnaturalización de las proteínas contenidas en la cubierta del huevo, inhibiendo su funcionamiento, así como su crecimiento y en los casos más extremos la posterior actividad desarrollada en el núcleo del huevo. Por lo tanto dicho efecto impide el desarrollo del embrión y provoca la pérdida de viabilidad del organismo.

De igual manera Marr y Müller (1995) y Voet *et al.* (2006) concuerdan en que las condiciones del medio en el sitio de desarrollo del organismo funcionan como detonante de algunas funciones de larvado. Así entonces, como consecuencia a la exposición de los huevos a tratamientos ácidos las cubiertas se son adelgazadas y expandidas para dar el espacio necesario a la larva, con lo cual el nivel de protección brindado disminuye,



presentando dificultad para soportar el estrés ambiental, así como para cerrar adecuadamente su ciclo de vida.

Adicionalmente un medio ácido en combinación con una temperatura adecuada puede funcionar como detonante de larvado en los organismos. La falsa señal ocasiona la apertura de las cubiertas de protección, lo que permite un mayor intercambio con el ambiente, observándose una disminución natural del desempeño ecológico que en muchos casos puede provocar la muerte del organismo.

### **3.2.3 Desinfección convencional**

Los tratamientos desinfectantes empleados usualmente para agua residual consisten en la aplicación de cloro, ozono ó luz UV. En Mujeriego (1998) y en Northington *et al.* (1970) se menciona que los huevos de helminto, los quistes de la mayoría de protozoarios y bacterias no son sensibles a los agentes clorados, debido a que sus múltiples cubiertas, alta resistencia y bajo intercambio con el medio dificultan su efectividad por penetración.

Algunos resultados obtenidos para ozono efectuados por Ayala (2007) encontraron que dicho agente es efectivo contra helmintos, bacterias y amibas al eliminarlos hasta en un 70%. No obstante en dicho documento se señala que el mecanismo de interacción no es claro. Por otro lado en Litter *et al.* (2005) se señala que la luz UV reporta pérdida de viabilidad para huevos de helminto promedio de 45%; siempre y cuando exista una calidad adecuada en el proceso previo a su aplicación. Laurent (2005) y Sobsey (2002) señalan que, la radiación solar es efectiva para algunas especies hasta en un 85%; siempre y cuando se alcancen temperaturas cercanas o superiores a 55° C. Asimismo la pasteurización (60-70° C) reporta para algunas especies de helmintos un 80 % de efectividad.

Jiménez y Maya (2007) y Rojas *et al.* (2008) señalan que la sedimentación, la filtración, digestión, radiación, composteo (postratamientos en lodos) han sido empleados para remover huevos de helminto, al obtener entre un 20% y en ocasiones hasta un 100% de efectividad como se menciona a partir de lo señalado por A partir de Jiménez y Maya (2007) en la Tabla 3-2 . Sin embargo, en su mayoría las operaciones señaladas se observan valores con amplia dispersión (30-80%), lo cual se debe principalmente a varios factores, dentro de los cuales algunos podrían ser: que el mecanismo de ataque no es suficientemente

fuerte, que no ocurre de manera homogénea, que los eventos de impacto no son letales, que la resistencia propia dada por la conformación del huevo es suficiente para soportar el ataque y que adicionalmente la resistencia es variable dentro de la población y de la comunidad.

Por otra parte los sistemas filtrantes, así como los medios empleados para dicho fin, solo retiran del caudal los huevos de helminto, sin que con ello se asegure un efecto desinfectante o en su caso que ponga afecte la viabilidad del huevo (Aguilar *et al.*, 2006). Cabe remarcar que basta solo un huevo viable para inducir la parasitosis, lo cual pone de manifiesto la necesidad de asegurar que los organismos resulten inócuos por cualquier método que sean tratados.

Adicionalmente, es importante hacer mención que muchos de ellos solo han sido probados únicamente en *Ascaris* spp. y en particular con *A. lumbricoides* y *A. suum* y que aún falta efectuar determinaciones de concentraciones y efectividades correspondientes para otras especies de interés sanitario y ambiental, ya que cada especie de helminto presenta arreglos y condiciones estructurales particulares, que a su vez se le confieren una determinada capacidad de respuesta ante condiciones ambientales adversas.

**Tabla 3-2. Eficiencias de pérdida de viabilidad en huevos de helminto reportados para diferentes procesos de tratamientos de lodos. Tomado de Jiménez y Maya (2007)**

Proceso	Condiciones	Eficiencia (%)
Digestión mesofílica	15-60 d y 35-55° C	30
Composteo	70° C	80
Digestión aeróbica termofílica	30 d y 4.5 ± 3.2° C	78
Tratamiento termales	108° C	90-93
Radiación	750 Gy	100
Post-estabilización con cal	Partiendo de 8 h/L	100
Estabilización con cal	Con cal apagada calentada a 50° C durante 48 min con un contenido inicial de 70 <i>Ascaris</i> sp/g ST	100
Post-estabilización rápida con cal	A un pH de 12 por 12 horas, usando cal 20-40 % (w/w)	65-92
Digestión aerobia termofílica (45-65° C)	Con HH de alrededor de 80 h/g ST	75-78 %
Irradiación a 1000 Gy	Con contenido inicial de 80 h g <sup>-1</sup> ST	100
Pasteurización	A 70° C con un valor inicial de 8 h g <sup>-1</sup> ST	100
Tratamiento con ácido peracético	Con contenido inicial de 100 h g <sup>-1</sup> ST	95
Co-composteo	Con contenido inicial de 22-83 h g <sup>-1</sup> ST (huevos con 20 % de viabilidad)	70-100

ST= Sólidos totales

### 3.2.4 Desinfección no convencional

Se han tenido que explorar otras alternativas en desinfección dadas las desventajas que presentan los desinfectantes convencionales, ya sea en cuestión de aplicabilidad, costos, manejo y eficiencias. Dentro ellos se encuentran: fenoles y derivados (triclosan, hexaclorofeno, clorocresol, parabenos), alcoholes, aldehídos (formaldehído y glutaraldehído), ácidos, halógenos y metales, por mencionar algunos (EPA, 2010); muchos de ellos con bajas eficiencias. Varios que han resultado útiles para eliminar huevos de helminto son el TiO<sub>2</sub> que reporta un ≈72 % para *Ascaris* sp, *Himenolepis* sp., *Toxocara* sp., y *Trichuris* sp., otro de ellos es un proceso tipo “fenton” reportado por Aranda (2001) y Morales (2010) con un 66%, también el ataque con metales como cobre, hierro y plata los cuales han resultado efectivos para inhabilitar la capacidad de desarrollo a sus estadios



larvarios (100% en todos los casos) (García *et al.*, 2008; Rodríguez, 2009) y por último el ácido peracético con 95% (Jiménez, 2007 y Rojas *et al.*, 2008).

### **3.2.5 El uso de la plata como agente desinfectante**

Su uso se remonta a mas de 2000 años, de hecho, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS (2008b) hace una breve reseña relativa a la historia de la desinfección, donde se señala: “Muchas culturas hacen referencia al uso de la plata como medida preventiva de males pestilentes, adicionalmente los utensilios hechos de ese metal eran usados debido a su fácil manejo, gran durabilidad y capacidad de mantener la frescura del agua”. En él también se apuntan a manera de receta, dos reglas básicas para la desinfección del agua, las cuales fueron encontradas en papiros que datan del año 2000 A.C.

- 1.- El agua debía ser expuesta a la luz del sol y filtrada con carbón.
- 2.- El agua “impura” Se debía hervir con la inmersión de un trozo de cobre o plata siete veces antes de filtrarla.

Civilizaciones antiguas como persas griegos, romanos, chinos, aztecas y griegos usaban utensilios de plata para mantener el agua y otros líquidos frescos. Existen referencias de que el imperio romano mantenía su vino en urnas de plata para prevenir su deterioro, adicionalmente los emperadores chinos comían con palillos hechos de plata (Miranda, 2005). En la edad media recipientes de plata eran usados para evitar el brote de plagas atribuidas a “la descomposición del agua”. Por otra parte, los habitantes de colonias australianas recién conquistadas guardaban el agua en grandes tanques hechos de aleaciones de plata y cobre (debido a la baja calidad del agua y para retardar su deterioro). Se tienen referencias de que los pioneros americanos encargados de hacer las cartas geográficas en el oeste americano, donde señalan que, si colocaban una moneda de plata o de cobre en sus cantimploras, el agua se mantenía libre de turbiedades (Davies y Etris, 1997 y CEPIS, 2008b). A lo largo de la frontera México-Americana se efectuaba una práctica muy popular, la cual consistía en poner dólares de plata en la leche “bruta” para mantenerla fresca. En la primera guerra mundial hojas finas de plata eran usadas para combatir la infección en las heridas y en 1800 los doctores usaban suturas con hilo de plata para heridas

(Davies y Etris, 1997 y CEPIS, 2008a). Dentro de los estudios de mayor importancia se encuentran estudios publicados por el botánico suizo Karl Wilhelm von Nägeli durante el siglo XIX, el cual refiere directamente de los efectos letales del Hg, Ag, Cu, Fe, Zn, Bi, Au, Al y algunos otros metales sobre bacterias, algas, esporas, hongos y virus.

Los tres mecanismos sugeridos por Davies y Etris en 1997, mencionan que la acción de la plata se debe principalmente a la liberación de iones de plata. Dicho autor plantea que el metal reacciona con los microorganismos.

### **3.2.6 Inactivación por los estados de oxidación de la plata**

La plata posee varios estados de oxidación ( $\text{Ag}^0$  y  $\text{Ag}^{1+}$ ,  $\text{Ag}^{2+}$  y  $\text{Ag}^{3+}$ ), dentro de las cuales las primeras dos se encuentran en forma estable ( $\text{Ag}^0$  y  $\text{Ag}^{1+}$ ), sin embargo  $\text{Ag}^{2+}$  y  $\text{Ag}^{3+}$  no se encuentran fácilmente, ya que solo se han obtenido de dos maneras, ya sea por vía electrolítica y de manera natural en la matriz de las rocas su forma polivalente como  $\text{Ag}^{2+}$  y  $\text{Ag}^{3+}$ , aunque de forma inestable, pero con un mayor poder desinfectante (Magaña, 2010).

Cuando la plata está en estado  $\text{Ag}^0$  tiene la capacidad de absorber oxígeno brindando propiedades oxidantes, lo cual implica que puede ser adherido con mayor facilidad a la superficie del organismo. Así entonces la desinfección ocurre cuando el oxígeno se une a los proteínas con contenido de azufre, adicionándose en particular al grupo sulfhidrilo (-SH), donde los iones plata actúan como venenos protoplasmáticos que al combinarse con las proteínas antes mencionadas resultan en la unión de los átomos de azufre formando enlaces R-S-S-R interrumpiendo la transferencia de electrones e impidiendo la transcripción del material genético, asimismo no permite la unión a las bases ribosas y grupos fosfatos al sustituirse los iones hidrógeno por enlaces tipo S-Ag que son más estables y que bloquean completamente la respiración (Miranda, 2005) derivando en la muerte del organismo.

La  $\text{Ag}^{1+}$  reacciona con cualquier carga negativa presentada por los mecanismos de transporte de membrana, impidiendo la llegada y la posterior metabolización hacia el interior del organismo, Asimismo dichos estados de oxidación tienen la propiedad de absorber en su superficie oxígeno molecular como oxígeno atómico, el cual se introduce al organismo como fue mencionado anteriormente. Cabe destacar el oxígeno acumulado

contribuye en gran manera al poder oxidante de la plata, la cual se ve favorecida al ser expuesta a un medio acuoso, ya que ella al entrar en contacto con la materia orgánica instantáneamente la oxida siguiendo el mecanismo señalado anteriormente.

En  $\text{Ag}^{2+}$  y  $\text{Ag}^{3+}$  se observa que la molécula se conforma por cuatro átomos de plata y cuatro átomos de oxígeno ( $\text{Ag}_4\text{O}_4$ ) presentando en esta configuración dos cargas diferentes (1+ y 2+) e inclusive el inusual 3+, por lo que se le conoce como óxido de plata polivalente (Miranda, 2005), los cuales actúan principalmente en los citocromos, donde su alteración puede causar modificaciones en los procesos desarrollados en la mitocondria como en la oxidación de metabolitos (vía ciclo de Krebs), b-oxidación de ácidos grasos y la obtención de ATP mediante la fosforilación oxidativa, la cual se ve afectada debido a que es dependiente de la cadena transportadora de electrones. Otras implicaciones ocurren en la permeabilidad de membrana, en el empaquetamiento del DNA y en la segregación cromosómica (Lewin, 2010).

### ***3.2.7 Factores fisicoquímicos que deben considerarse en la desinfección por plata***

La efectividad del agente puede ser modificada debido a su reactividad, donde los principales parámetros a considerarse son: la calidad del agua a la cual se aplicará el tratamiento de desinfección, la turbidez (principalmente por partículas suspendidas), materia orgánica disuelta, constituyentes inorgánicos, pH y la temperatura, por mencionar algunos, ya que ellos pueden disminuir la capacidad de desinfección. Algunos de ellos se señalan en la NOM-201-SSA1-2002 y la manera de afectación se detallan en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3. Factores fisicoquímicos importantes a considerar en la desinfección con plata**

Factor	Implicación
Turbidez	Las partículas en suspensión tienen propiedades de interferencia, ya que pueden ser reactivos con la plata.
Materia orgánica disuelta	Compuestos como aminoácidos y proteínas tienden a formar compuestos complejos con la plata antes de que ella pueda reaccionar con los microorganismos, resultando así en la formación de subproductos conocidos como proteínatos (sin capacidad desinfectante) (Miranda, 2005 y Wang <i>et al.</i> , 2003).
Compuestos inorgánicos e iónicos	Iones como $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ y $\text{Cl}^-$ son reactivos con la plata, con lo cual la disponibilidad de ésta disminuye (Wang <i>et al.</i> , 2003).
Concentración y distribución de los organismos	Los organismos se pueden encontrar en diferente lugar de la columna de agua, con lo cual una aplicación adecuada debe asegurar su llegada al objetivo con la concentración suficiente para obtener el efecto desinfectante esperado (Bloomfield, 1991).
Tipo de organismos	La resistencia dada por la fisiología de cada organismo es diferente, donde la permisibilidad del intercambio con el medio asociado al tipo de estructura son factores importantes a considerar.
pH	Favorece el estado de oxidación que presenta la plata (UDLAP, 2010).
Tiempo de exposición	Debido a que la reacción es a nivel proteínico se necesitan tiempos específicos para que ello ocurra.
Temperatura	Se relaciona directamente con la ionización del desinfectante empleado al modificar la relación de intercambio líquido-desinfectante (Gaudy y Gaudy, 1981 y UDLAP, 2010).

### 3.2.8 *Desinfectante ideal*

Se hace imponderable intensificar la exploración de alternativas que se adecuen a las necesidades actuales, ya que las desventajas relativas a los requerimientos previos para el empleo de un desinfectante o a las eficiencias mostradas contra los organismos obliga a que el desinfectante propuesto sea altamente flexible en cuestión de aplicación, de amplio espectro y que deseablemente posea un efecto residual.

Primordialmente un desinfectante busca: eliminar a los organismos para el cual fue empleado (objetivo o blanco), así como una cantidad de ellos eliminada por dosis efectiva, una alta practicidad y no ser perjudicial para los usos posteriores del caudal tratado. En la Tabla 3-4 se señalan algunas características que deseablemente debe poseer un

desinfectante. En Metcalf y Eddy (1996) se menciona que en su mayoría los agentes empleados son específicos, así como el mecanismo de acción, donde en muchos casos se encuentran involucradas las características biológicas, químicas e inclusive a las estructuras en particular a las que se desee impactar.

**Tabla 3-4. Características ideales que debe poseer un desinfectante. A partir de Metcalf y Eddy (1996) y CIDTA (2008)**

Característica	Propiedad
Toxicidad	Debe ser tóxico o letal a las concentraciones definidas previamente.
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectivo en el intervalo de temperatura ambiente.
Toxicidad para otros organismos	No debe ser tóxico o letal para otros organismos en las mismas dosis.
Solubilidad	Debe tener una solubilidad adecuada de acuerdo a los mecanismos de acción ya sea en el agua o directamente en el tejido celular.
Estabilidad	Debe mantener su poder germicida por un periodo de tiempo Debe persistir en una concentración razonable en el agua desinfectada para proveer una protección residual contra posible contaminación antes de su reúso. No debe modificar el pH considerablemente, de acuerdo al uso posterior del líquido.
Homogeneidad	La disolución debe ser uniforme en su composición y soportar posibles fluctuaciones de composición y concentración.
Interacción con materia ajena	No debe ser absorbido por otra materia diferente a las células objetivo.
No corrosivo y no colorante	No debe atacar los metales y no debe teñir el agua.
Capacidad desodorante	Debe desodorizar y a su vez desinfectar
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un costo razonable.
Manejo y transportación	Debe ser seguro y fácil de guardar, transportar, manejar y aplicar.
Determinación de concentración	Su concentración en al agua tratada debe ser fácil y rápidamente determinada.

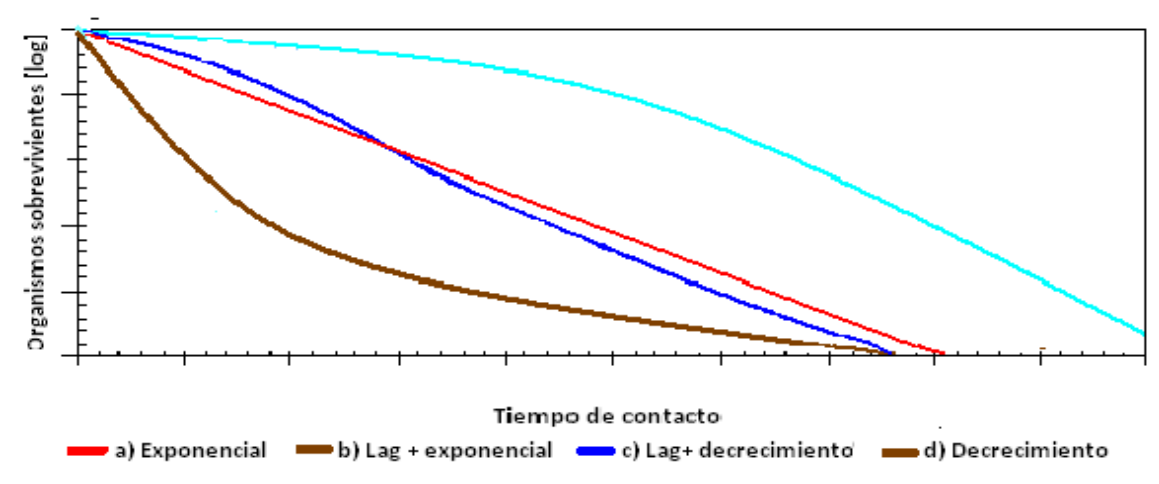
### 3.2.9 Cinética de la desinfección química

La destrucción o inactivación de los organismos no se efectúa instantáneamente, de hecho ocurre gradualmente como en la mayoría de los procesos fisicoquímicos (Bitton, 1994), ella ocurre mediante una serie de etapas, dentro de las cuales se encuentran algunas físicas, químicas y bioquímicas. Aunque es muy probable que más de una de ellas determine el

modo en el cual se comporte la desinfección (ENOHS, 2010). Sin embargo, las velocidades globales empleadas en las reacciones de desinfección han sido históricamente modeladas a partir del uso de curvas de tiempo-sobrevivencia, donde se ha reconocido que se asemejan hasta cierto punto a expresiones de cinéticas químicas simples (Pernitsky *et al.*, 1995). Por ello, con el objeto de predecir un comportamiento del sistema, por razones de simplicidad, practicidad y conveniencia no se consideran las peculiaridades ocurridas en cada proceso (de tipo físico-químico) y que modifican en muchas ocasiones la curva dentro de las cuales adicionalmente se incluyen eventos estocásticos y probabilísticos relacionados con la acción germicida (Bloomfield, 1991).

Una curva de eliminación normal posee un comportamiento de tipo sigmoidal, ya que se compone de tres fases principales: a) una fase inicial “lag”, en función de la velocidad de penetración, la cual es consistente con el concepto de resistencia poblacional (no constante para todos los organismos), pero que se puede encontrar distribuida cerca de un valor promedio, tal que algunas mueren con mayor o menor velocidad (Begon *et al.*, 1990). Dicha fase también es atribuible a un mezclado heterogéneo del desinfectante con el disolvente, b) una fase lineal, donde la velocidad de inactivación es exponencial y consistente con una reacción de primer orden, según lo descrito por Chick y Watson y c) un efecto de decrecimiento que representa la muerte de los organismos residuales (con resistencia mayor a la promedio o para aquellos en los cuales el acceso del desinfectante fue lento), lo cual también puede ser atribuible a la presencia de diferentes especies e inclusive a nivel subespecie (con resistencia variable hacia el desinfectante). La curva general puede o no contener las fases descritas anteriormente, lo que da origen a cuatro cinéticas de inactivación que se observan en la Figura 3-4.

La curva “a” representa la típica curva de inactivación tipo exponencial con cinética de primer orden (fase lineal), en la “b” se observa una fase “lag” con una fase exponencial (combinación de fase lag y lineal), mientras que la “c” existe una “lag” seguida de una de decrecimiento y la “d” muestra el comportamiento decreciente en el existe una rápida inactivación inicial es seguida por una disminución en la rapidez de eliminación (Miranda, 2005).



**Figura 3-4. Curvas de supervivencia para organismos**

Entre los datos necesarios para considerarse en un sistema de desinfección se incluye la velocidad a la cual se inactivan los organismos de interés o indicadores (velocidad de inactivación), máximo poder desinfectante, el efecto gradual sobre el organismo y las concentraciones correspondientes a las cuales ocurren. Todos ellos derivarán en dosis a aplicar, volumen del contenedor, tiempo de contacto necesario, eficiencia, capacidad de diseño, filtración, pérdida de viabilidad, por mencionar solo algunos.

### 3.2.10 Modelos de desinfección química

La velocidad de destrucción de los microorganismos ha sido comúnmente expresada por una ecuación de primer orden conocida como la Ley de Chick quién, investigó y desarrolló las ecuaciones para explicar la cinética de la desinfección, reconociendo la gran similitud que existía entre la inactivación microbiológica por medio de desinfectantes químicos y las reacciones químicas de primer orden, donde la rapidez de reacción depende de las concentraciones relativas de microorganismos y el desinfectante con el tiempo de contacto (Hanssen *et al.*, 2000). Chick y Watson establecieron un modelo que cuantifica la cantidad de microorganismos sobrevivientes  $N$ , a un tiempo  $t$  en presencia de una concentración  $C$  de un desinfectante, expresado como:

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -kCt$$

Donde:

$N_t$ = Microorganismos sobrevivientes al tiempo de contacto “ $t$ ”;  $N_0$ = Microorganismos al tiempo  $t=0$  (en el inicio de la prueba);  $k$ = Coeficiente específico de letalidad (caracteriza la sensibilidad de un microorganismo en presencia del desinfectante de estudio);  $C$ = concentración remanente de desinfectante;  $n$ = coeficiente de dilución, que es función de la calidad del agua. Representa el número promedio de desinfectante que se combina con el microorganismo y es necesario para inactivarlo;  $t$ = tiempo de contacto.

El parámetro “ $n$ ” es de gran importancia, ya que los valores menores que la unidad indican que el tiempo de contacto es más importante que la dosis de desinfectante. Si “ $n$ ” es igual a la unidad el tiempo de contacto y la concentración tienen la misma importancia y por último “ $n$ ” es mayor a la unidad, la concentración de desinfectante es más importante que el tiempo de contacto (Gyürék y Finch, 1998). Se han generado diversos modelos para describir la inactivación de los organismos, debido a que no todos los desinfectantes ni todos los mecanismos funcionan igual como se señala en la Tabla 3-5.

**Tabla 3-5. Algunos modelos cinéticos comúnmente empleados en procesos de desinfección. Tomado de Miranda (2005)**

Modelo	Relación de sobrevivientes	Observaciones
Chick-Watson	$-kC^n t$	Cinética de primer orden cuando $n=1$ , propuesta por Chick y Watson (1908).
Hom	$-kC^n t^m$	Generalización de la ley de Chick- Watson toma en cuenta las diferentes fases de las curvas de sobrevivencia (1972). Función no lineal de $C$ y $T$ . Puede ajustarse a las curvas A, B, C y D. Si $m>1$ , la curva presenta una fase lag inicial, aumentando $k$ con el tiempo. Si $m<1$ , la curva presenta un efecto de decrecimiento, disminuyendo $k$ con el tiempo.
Racional	$-\frac{\log[1 + N_0^{x-1}(x-1)kC^n t]}{(x-1)}$	Puede describir el fenómeno de la fase lag para $x<1$ y de decrecimiento para $x>1$ (curva tipo C) (1973).
Ley de poder de Hom	$-\frac{\log[1 + N_0^{x-1}(x-1)kC^n t^m]}{(x-1)}$	Provee un mejor ajuste que los modelos anteriores para las curvas de sobrevivencia del tipo C (1996).



Continúa Tabla 3-5. Algunos modelos cinéticos comúnmente empleados en procesos de desinfección.

Modelo	Relación de sobrevivientes	Observaciones
Selleck	$-n \log \left[ 1 + \frac{Ct}{k} \right]$	Modelo empírico, describe curvas de sobrevivencia que se observan con frecuencia durante la cloración del agua residual (curva tipo C). Los valores de k y n están relacionados con la razón de las dosis de cloro y nitrógeno empleados en la prueba propuesta por Selleck (1978).
Múltiples objetivos	$\log \left[ 1 - (1 - e^{-kCt})^{n_c} \right]$	Modelo estadístico, no adecuado para describir la cinética de inactivación microbiana. Propone que cada microorganismo tiene un total de $n_c$ objetivos críticos todos idénticos, los cuales deben ser tocados una sola vez para inactivarlo (1953)
Series de eventos	$\frac{-kCt + \ln \left[ \sum_{K=0}^{l-1} \frac{(kCt)^K}{K!} \right]}{\ln(10)}$	Modelo complicado donde se idealiza el daño que ocasiona el desinfectante a los microorganismos, suponiendo una serie de reacciones sucesivas que logran inactivar a los mismos. Aquí "l" es el número de reacciones letales para inactivar un microorganismo o eventos letales y K es la velocidad de destrucción de algún sitio en el mismo (1975)
Múltiples series de eventos	$\log \left[ 1 - \left( 1 - e^{-kCt} \sum_{K=0}^{l-1} \frac{(kCt)^K}{K!} \right) \right]$	Basado en el modelo de serie de eventos donde supone una serie de reacciones de primer orden con respecto a la concentración por lo que se requieren "l" eventos letales para inactivar a un organismo (1984)

Donde: "n" "m" "x" son parámetros del modelo; C= concentración remanente del desinfectante; N0=Organismos al tiempo "0"; t= tiempo de contacto; K= Coeficiente específico de letalidad

### 3.3 Filtración

El mecanismo obedece históricamente a la imitación de un proceso natural de depuración de agua en manantiales. En McCabe *et al.* (1985) se señala que, el fundamento sobre el cual descansa la operación consiste en que alguno de los componentes de la mezcla no es soluble en otro y en la diferencia de diámetros entre el filtrado y el medio filtrante, que en combinación con un espacio poroso e intersticial adecuados, así como una buena capacidad de interacción con el medio son factores importantes para que el material filtrado se quede retenido en el espacio intersticial o en el hueco de poro.

Bajo ese concepto, inicialmente se construyeron algunos filtros de carácter doméstico, para lo cual se empleaban rocas porosas de diferente origen, las cuales eran colocadas en

tinajeros. En Francia, alrededor de los siglos XVIII Y XIX eran comunes los de esponjas, paños, lana y otros materiales que ofrecían características de salida diferentes.

Aunque, en sentido estricto una filtración consiste en la separación partículas por medios netamente físicos. A inicios del siglo XIX en Inglaterra como consecuencia de la demanda de agua de calidad se profundizó en el estudio de la operación unitaria y de los medios de soporte mismos, adquiriendo con ello una versatilidad, donde se observó que a través de ellos se podía extraer sólidos en suspensión, organismos, ciertos productos químicos, sabores y olores. Concluyendo así que durante una filtración no solo se llevaba a cabo una operación de cribado, sino que también había reacciones químicas entre las sustancias e inclusive con los organismos desarrollados en la matriz del lecho. Por lo anterior, se ha optado por extender el concepto a la separación de partículas de naturaleza física, con interacciones químicas e inclusive biológicas. En este sentido, la filtración puede ser abordada como operación unitaria o como proceso.

### ***3.3.1 Mecanismos que intervienen dentro de la filtración***

En Metcalf y Eddy (1996) señalan que las partículas de menor diámetro que los poros del medio filtrante entran libremente al material granular y tienen que atravesar una distancia relativamente grande antes de poderse adherir a los granos que forman dichos poros. Así entonces, es importante mencionar que el proceso de filtración ocurre en dos etapas distintas, aunque sin dejar de complementarse, donde la importancia de cada una de ellas depende del proceso particular al cual se someta:

#### **1. Transporte de partículas dentro de los poros**

Donde los mecanismos a considerar para la realización del transporte son: a) Cernido, b) Sedimentación, c) Intercepción, d) Difusión y e) Impacto inercial

#### **2. Adherencia a los granos dentro del medio**

Los mecanismos que pueden la adherencia son: f) Fuerzas de Van der Waals, g) Fuerzas electrostáticas, h) Puente químico.

De igual manera se puntualiza en que es difícil señalar cuál de ellos es el que controla el proceso de filtración, ya que es indudable que no todos tienen que actuar al mismo tiempo; pero sin duda más de uno lo llevará a cabo, contribuyendo en mayor o menor proporción en función de las características del caudal a tratar.

### **3.3.2 Tipos de filtros**

A partir de 1856 en Francia aparecieron dos tipos de filtros de agua: a) Fonvielle y b) Souchon (Reynolds y Richards, 1996).

a) Constituidos por un cono truncado de hierro fundido con tapa semiesférica en el cual había un lecho filtrante compuesto de esponjas marinas, roca caliza y arena de río.

b) Constituidos por tres lechos de paño de un máximo de 2.0 m. de profundidad. Dicho modelo y dimensionamiento se emplea inclusive actualmente (Metcalf y Eddy, 1996).

A partir de ello, en ambos casos se formaron dos escuelas: a) filtración descendente y b) ascendente

a) Planteaba que el proceso (de arriba hacia abajo) obtenía una mayor resistencia en operación, así como la eliminación de energía eléctrica en el proceso, ya que la mayoría de la materia suspendida quedaba retenida en las capas superficiales, lo cual facilitaba su limpieza. El sistema presentaba un largo tiempo de saturación y de duración. Sin embargo, se necesitaban filtros de gran longitud y en muchas ocasiones no resultaban viables ya que no se disponía del espacio necesario.

b) Sostenía que la gravedad producida por el asentamiento de la mayoría de las partículas en el fondo del filtro, lo cual facilitaría el lavado del filtro, que aunado a una granulometría cada vez más fina favorecería el efecto filtrante, obteniendo con ello un tamaño de filtro pequeño que no favorecería el desarrollo de biopelícula (alto flujo). Sin embargo ello requería en ocasiones energía eléctrica durante toda la operación y debido a la saturación a corto tiempo derivaba en un mayor mantenimiento. (Metcalf y Eddy, 1996).

Con el tiempo se impuso la primera escuela (filtración descendente) y el uso de los filtros lentos de arena se popularizó tanto en Europa como en América. Con el advenimiento de la Microbiología nacida a mediados del siglo XIX, se le fue dando cada vez mayor importancia al aspecto biológico de la filtración, ya que a finales de dicho siglo muchas ciudades habían construido plantas de tratamiento de agua residual incorporando todas ellas

sistemas de filtración y desinfección para efectuar la remoción de diferentes compuestos. Con un mayor conocimiento del proceso se pudieron diseñar filtros más rápidos bajo patente a los que llamaron filtros mecánicos o americanos. El trabajo que ellos desempeñan depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios, pudiendo efectuarse de formas diferentes como se señala en la Tabla 3-6, ya sea con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro), granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente y mixto (parte ascendente y parte descendente) (Metcalf y Eddy, 1996).

**Tabla 3-6. Clasificación de filtros en función de la capacidad de tratamiento**

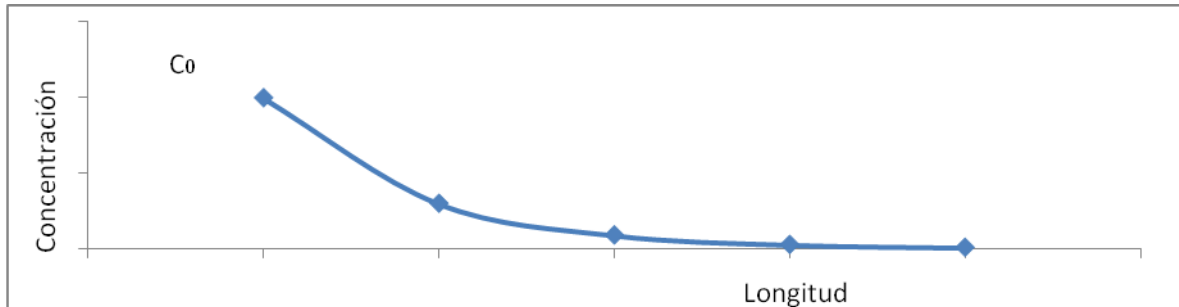
Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos (120-360) m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	1.-Arena (h=0.65-0.75m)	Ascendentes	Por gravedad
	2.-Antracita (h=0.50-0.60m)	Descendentes	Por presión
	3.-Mixtos: Antracita (h=50-60cm) y Arena (h=0.15-0.20m)	Flujo mixto	
	4.- Mixtos: arena, antracita y granate		
Lentos (7-14) m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	1.-Arena (h=0.60-1m)	Descendente y ascendente	Por gravedad

### 3.3.3 Cinética de filtración

Principalmente la finalidad de un sistema filtrante es retener los cuerpos ajenos contenidos en un caudal, restaurando con ello las condiciones de pureza del agua necesarias para usos posteriores. Así entonces, un balance de masa resume una gran parte de su comportamiento, permitiendo con ello determinar la eficiencia de un filtro, así como su comportamiento al determinar la distribución de los depósitos en el medio en función de la posición y del tiempo, ya que en la operación se produce por una colmatación progresiva de los poros y por consiguiente varía la eficiencia de remoción dependiente del tiempo.

ACE (2010) y Auvinet (1982) señalan que un filtro teórico se comporta de tipo exponencial decreciente en gasto (por pérdida de carga) y concentración, el cual se atenuará en función

de la profundidad del medio filtrante y del tiempo de residencia con un comportamiento el cual se alejará del ideal ( $R^2= 1$ ) a medida que otras fuerzas físicas o químicas intervengan. Dicho comportamiento se representa en la Figura 3-5.



**Figura 3-5. Comportamiento de un filtro ideal**

Existen comportamientos que ocasionan un desvío de la curva durante el transcurso de la operación (a lo largo del tiempo). Para explicar este fenómeno, se han considerado dos teorías: a) retención y arrastre de partículas, y b) coeficiente de filtración modificado (Maldonado, 2010).

a) Las partículas retenidas en los poros causan el estrechamiento de los canales y como consecuencia ocurre una linealización intersticial y con ello un aumento de la velocidad en el flujo a filtrar. Dicho incremento hace que parte de las partículas retenidas sean arrastradas a las capas inferiores, de tal modo que la cantidad arrastrada es proporcional a la existente en cada capa, lo cual conduce a una disminución en el coeficiente de filtración para la siguiente subcapa.

b) Parte del mismo supuesto (inciso anterior), solo que manifiesta la importancia de las variaciones de la geometría de los poros causadas por la retención de las partículas. De este modo la superficie específica es un factor importante que debe ser considerado, pues la velocidad intersticial aumenta debido al estrechamiento de los canales por los que escurre la suspensión. Para lo cual consideran tres casos individuales y se combinan posteriormente para obtener un resultado global.

- 1.-Se considera al medio filtrante como un conjunto de esferas individuales.
- 2.-Supone que el medio filtrante está representado por un conjunto de capilares cilíndricos individuales.

3.- Considera que la velocidad intersticial es modificada por la cantidad promedio de depósito en cualquier elemento de volumen del medio filtrante.

### **3.3.4 Modelos de filtración**

A pesar de que se tiene conocimiento de los mecanismos que intervienen en la filtración, no se ha podido llegar a encontrar un modelo matemático que describa con precisión el comportamiento de los diferentes parámetros de operación de los filtros. Cabe destacar que hasta ahora, ninguna fórmula o conjunto de fórmulas con las cuales, asumidos valores determinados se pueden calcular los diferentes parámetros que inciden en el funcionamiento de un filtro (Maldonado, 2010), ya que muchas veces el proceso no responde a un solo tipo de mecanismo, sino que usualmente son consecuencia de una combinación de los eventos, los cuales se señalan en el punto 4.2.1 y que pueden actuar en un momento en particular solos o en conjunto (Metcalf y Eddy, 1996), lo cual complica la descripción fina del comportamiento en cada punto del lecho.

Obviamente, esta dificultad no limita el hecho de poder determinar los parámetros del proceso de filtración, ya que se pueden conocer los comportamientos mostrados en un determinado filtro con ciertas características, aunque cualquier modificación en operación o en el medio filtrante significa un cambio en los parámetros del proceso. Sin embargo, los modelos matemáticos resultan útiles para la mejor comprensión del proceso de filtración. Algunas de las expresiones matemáticas aplicables se refieren de Metcalf y Eddy (1996), donde se relacionan elementos importantes dentro del proceso y que se muestran en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7. Ecuaciones comúnmente empleadas para describir la filtración

Modelo (cronológico)	Ecuación planteada	Observaciones
Iwasaki (1937)	$\frac{dI}{dt} = \lambda L$	I = concentración por cm <sup>2</sup>
Ives (1962)	$\frac{dC}{dL} = -\lambda C$ $-\lambda = \lambda_1 * K \sigma - \frac{(\theta * \sigma)^2}{p - \sigma}$	$\sigma, C, p_0$
Ives (1969)	$\lambda = \lambda \left(1 + \frac{\theta z}{p_0}\right) y * \left(1 + \frac{z}{p}\right) z * \left(1 + \frac{z}{p}\right) x$	$B, p, \sigma$
Deb (1970)	$C = \frac{v}{p_0 - \sigma} * \left(\frac{dC}{dL}\right) + \left(\frac{dC}{dt}\right)$	$C, p_0$
Adín y Rebhun (1970)	$\frac{dI}{dt} = K_1 C (F - I) - K_2 J$	$F$ = capacidad del filtro $J$ = gradiente hidráulico $K_1, K_2$ = coeficiente de adherencia y desprendimiento
Ginn (1992)	$\frac{dI}{dt} = 1.5 * \left(1 - \frac{p_0}{d}\right) * \alpha n_0 C$	$d$ = diámetro del grano $n_0$ = eficiencia de remoción del colector $\alpha$ = factor de eficiencia de las colisiones

## 4 METODOLOGÍA

El trabajo se conformó por dos etapas experimentales:

**Primera etapa experimental:** Tiene como fin obtener información para la elaboración, diseño y dimensionamiento de los sistemas filtrantes, los cuales se detallan adelante en el punto 4.1.

**Segunda etapa experimental:** Busca evaluar los comportamientos mostrados en los sistemas empacados con AM y PP previamente construidos, lo cual se detalla en el punto 4.2.

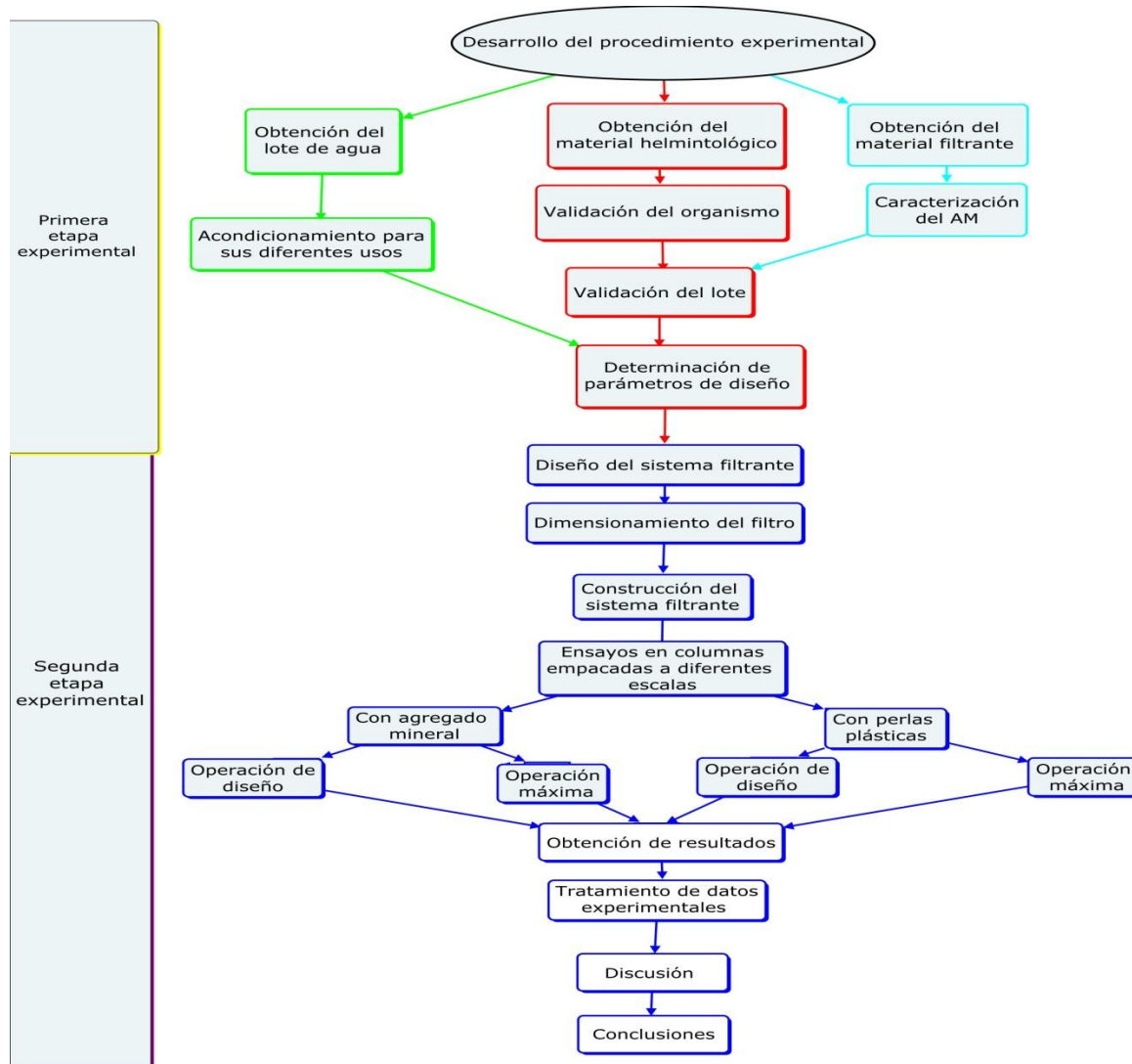


Figura 4-1. Metodología empleada



#### **4.1 Primera etapa experimental**

Se compuso por tres partes

- a) Obtención del lote de agua.- Correspondió a la elaboración de las soluciones helmintológicas de hibernación, incubación y mantenimiento, los cuales se detallan en 4.1.1.
- b) Obtención del material filtrante.- Comprendió la obtención, acondicionamiento y caracterización del medio de soporte a utilizar, lo cual se puede observar en el punto 4.1.3.
- c) Obtención de los organismos adultos.- Se conformó por la obtención y validación del material helmintológico, así como de la separación y acondicionamiento del lote para las pruebas de contacto y filtrado, las cuales se detallan en 4.1.4, donde las últimas correspondieron a la segunda etapa experimental.

##### **4.1.1 Obtención de lote de agua**

Se empleó en todos los casos agua desionizada, esterilizada y destilada, la cual se acondicionó a medida de lo posible para usarse durante todo el experimento.

##### **4.1.2 Acondicionamiento**

El agua se transportó al laboratorio en contenedores de 20 L, cerrados hasta su empleo. Para ello, se efectuó una esterilización adicional con el objeto de evitar impurezas que pudieran modificar el efecto filtrante o desinfectante dado por la interacción de moléculas de cualquier tipo, de manera adicional se efectuó dicho procedimiento para asegurar la ausencia de cualquier forma de vida que se pudiera alojar e incubar en el medio.

###### **4.1.2.1 Esterilización**

Se esterilizó el líquido en una autoclave AC-LAB *Equipment Company* 3712 a 125° C y 1.5 lb/ft<sup>3</sup> durante 15 minutos.

#### **4.1.2.2** *Conservación*

Una vez obtenida el agua salida del punto anterior fue colocada de nueva cuenta en su contenedor cerrado y conservado en refrigeración a 2-4° C hasta su uso.

#### **4.1.2.3** *Elaboración de soluciones helmintológicas*

Las soluciones de aclaramiento y conservación empleadas durante las pruebas se detallan en el ANEXO II.

#### **4.1.3** *Obtención del AM*

Se buscó un medio filtrante que interviniera en la retención e inactivación de huevos de helminto, el cual se seleccionó con base a conocimientos de Helmintología (estructura y ciclo de vida de los organismos), Química (composición del AM y de los huevos), Bioquímica (probables rutas de acceso e implicaciones metabólicas al contacto), Ingeniería (operaciones unitarias y procesos de separación) e Ingeniería ambiental (tratamiento de agua, problemática, fundamentos de desinfección y resolución a partir de la evaluación de factibilidad e interpretación de los resultados obtenidos).

El AM se obtuvo de una mina dedicada a la extracción de plata, ello para asegurar la presencia del metal, así como de una zona en específico, ya que se buscó la presencia y dispersión de él dentro de la matriz y para que la cantidad elemental no fuera un problema. El lugar en específico de obtención se ubicó en una zona lejana a la veta, por lo cual la cantidad de plata es mínima en comparación al contenido en el lugar de explotación. Por ello no es redituable su extracción y el material no tiene ningún valor monetario asignado, no es explotado, no se colecta y simplemente se apila. De hecho, el uso del material como agente desinfectante le otorgaría un valor agregado.

#### **4.1.3.1** *Acondicionamiento del material*

El material recuperado de la mina fue despedazado en una trituradora de mandíbula marca Zenith Shanghai JC250×1200 para generar los diámetros de partícula requeridos 2 y 0.6

mm. Dichas granulometrías fueron elegidas debido a que se desean emular las características de un filtro que ofrezca buenas condiciones de filtración, conductividad hidráulica y adicionalmente un efecto desinfectante, los cuales han ofrecido un buen resultado en función a la eficiencia, bajo mantenimiento y alta durabilidad. En éste caso para grava se recomienda que el diámetro de partícula obedezca al caudal máximo a tratar, por lo cual se sugiere 1.5-2.0 mm (Neftafim, 2008), mientras que para el caso de la antracita empleada para filtración de agua pre-tratada (con muy bajo contenido de partículas suspendidas) se recomienda entre 0.6 y 1.2 mm, ya que se busca que funcione para un filtrado de medio a fino es por ello que se eligió el punto más bajo. Por otro lado, debido a que las arenas son efectivas para filtrar contaminantes orgánicos e inorgánicos, se sugiere entre 0.45 y 0.6 mm; eligiéndose entonces la cota superior con el objeto de evitar taponamientos, añadir una función de pulimento (al aumentar el área de contacto con los huevos) y favorecer el factor mecánico (ACE, 2010).

Posteriormente la roca ya molida se separó acorde al diámetro seleccionado por un cernido de mallas (Tyler No. 18 y Tyler No. 28) con el tamaño de poro correspondiente (2.00-2.10 mm y 0.60-0.65 mm) hasta obtener un diámetro efectivo de  $d_{90}$  a  $d_{100}$  que fueron empleados en la construcción de los filtros. (Metcalf y Eddy, 1996)

#### **4.1.4 Caracterización del AM**

Se determinaron sus características físicas y fisicoquímicas, ya que el sistema propuesto funciona de esa manera. Las señaladas en el punto 4.1.4.1 ayudaron a predecir características de tipo hidráulico, así como para conocer el posible comportamiento dado por el impedimento mecánico ofrecido por el AM al ser empleado como medio filtrante, mientras que en 4.1.4.2 se efectuó un análisis de composición, ya que ella es responsable en gran parte del éxito, así como por la interacción resultante con los huevos de helminto.

#### *4.1.4.1 Caracterización física*

Las propiedades del lecho filtrante evaluadas fueron:

a) Densidad real; b) Densidad aparente; c) Porosidad; d) Retención; e) Permeabilidad máxima y promedio y f) Conductividad hidráulica.

#### *4.1.4.2 Caracterización fisicoquímica*

Consistió en un análisis cualitativo y cuantitativo, los cuales fueron obtenidos mediante las determinaciones obtenidas a través de:

a) Microscopía electrónica de barrido (MEB) con difracción de Rayos X; b) Espectroscopía de difracción de Rayos X en polvos y c) Análisis multielemental.

Las técnicas empleadas en ambos puntos se detallan en el ANEXO I.

#### *4.1.4.3 Pruebas adicionales*

Se efectuaron dos pruebas: a) Capacidad de disolución del AM en agua y b) modificación de pH.

Ellas fueron evaluadas con el objeto de conocer principalmente los posibles elementos de desecho emitidos por la operación del filtro y su posterior comparación con la normatividad vigente, para determinar el tiempo de agotamiento del filtro diseñado, así como para saber si el contenido del medio filtrante puede ser considerado peligroso para el ambiente.

a) Se consideró la solubilidad de los metales contenidos en el AM (Fe, Cu, Zn, As, Ag y Pb) en un medio líquido con el objeto de obtener un estimado del tiempo de vida del filtro, contenido elemental presente, elementos remanentes y liberados al ambiente, ya que en ciertas cantidades el contacto con algunos de ellos pueden ser dañinos para algunas formas de vida.

Para ello, se partió de los valores obtenidos en Miranda (2005), en el cual se obtuvieron las determinaciones a través de una espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (EOPAI) durante un periodo de un mes de contacto.

b) La prueba pretende evaluar si la modificación de pH prevista al contacto con el medio es un factor importante a considerar en la inactivación de *T. canis*. Para ello, se efectuó un ensayo donde se colocaron 100 g de AM con ADDE en un vaso de precipitados en agitación constante a 20 revoluciones/min, llevando a cabo mediciones de pH con un potenciómetro marca Oakton a cada hora. El experimento se dio por terminado hasta llegar a la estabilización.

#### 4.1.5 Obtención del material helmintológico

Se optó por obtener los huevos del organismo adulto y no de lodos provenientes de una PTAR, ya que en un lodo coexisten varias especies como *Ascaris lumbricoides* (86.7%), *Hymenolepis diminuta* (5.9%), *Trichuris trichiura* (4.8%), *Toxocara canis* (2.2%), *Necator americanus* (0.4%), *Taenia solium* (0.05%) y *Enterobius vermicularis* (0.04%) (Rojas *et al.*, 2004). Adicionalmente no se puede asegurar un estado físico adecuado en los organismos recuperados, así como un valor confiable de viabilidad, lo cual imposibilita realizar los cálculos posteriores, ya que se pueden obtener falsos positivos.

Por lo tanto se optó por obtener el material helmintológico purgando a un perro con la aplicación de una dosis única (300 mg) de Albendazol ( $C_{12}H_{15}N_3O_2S$ ). Posteriormente se recuperó el contenido helmíntico intestinal expulsado en las heces; ello debido a que dicho compuesto es antihelmíntico, con lo cual se contribuyó a su fácil desalojo (Kloch, *et al.*, 2005; Quiroz 1984 y Werner, 1992).

##### 4.1.5.1 Identificación ocular

Se separó el contenido *in situ*, se lavó con agua destilada y mediante observación se extrajeron a los organismos de tipo “nematode”; en particular a los que se asemejaban a *Toxocara canis*. El resto fueron desechados.

Con ayuda de pinceles y agujas de disección se separaron los ejemplares en éste estadio, los cuales fueron depositados en una caja Petri. Los especímenes recuperados se lavaron con solución fisiológica hasta separarlos por completo del material orgánico en el cual se encontraba inmerso.

#### 4.1.5.2 Conservación y aclaramiento

Una vez limpios los helmintos se mantuvieron en una nueva solución fisiológica al 0.85%. Algunos de ellos destinados a la identificación taxonómica; se introdujeron en alcohol al 70% para provocar su estiramiento total y con ello facilitar su observación al microscopio. La sección restante se destinó a disección (extracción de los huevos del útero), lo cual ocurrió durante las horas posteriores.

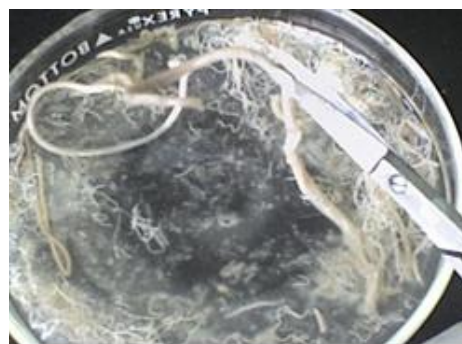
En ambos casos se aplicó la técnica de aplanamiento sugerida por Caspeta (2005) con el objeto de apreciar con claridad las estructuras internas. Posteriormente se trataron de acuerdo a la metodología señalada en el ANEXO II.

#### 4.1.6 Validación del organismo

Los ejemplares adultos se trasladaron al laboratorio y mediante claves helmintológicas especializadas (*Keys to the Nematode Parasities of Vertebrates* de Anderson *et al.* 1974) se validaron taxonómicamente como correspondientes a *Toxocara canis*.

##### 4.1.6.1 Disección del ejemplar adulto

El organismo se diseccionó a través de un corte dorsoventral a la altura del útero (Figura 4-2) procurando no dañar las estructuras internas e intentando recuperar el útero completo.



**Figura 4-2. Disección de adulto de *T. canis***

#### *4.1.6.2 Obtención de los huevos*

El útero fue manipulado con agujas de disección, colocado en una caja de Petri y observado al microscopio estereoscópico. Posteriormente para romperlo se realizó un corte longitudinal (para recuperar el mínimo de tejido uterino) dejando caer los huevos sobre la caja y posteriormente con un pincel fino se raspó ligeramente el útero para facilitar el desprendimiento de los huevos.

#### *4.1.6.3 Identificación ocular*

Se tomaron dos gotas de la solución resultante, se montaron en una preparación fresca y se observaron al microscopio para determinar la existencia de anomalías físicas. Finalmente fueron guardados en viales color ámbar con solución fisiológica.

#### *4.1.6.4 Limpieza*

Debido al cuidado mantenido durante los procedimientos anteriores solo requirió de dos lavados sucesivos con agua destilada.

#### *4.1.6.5 Conservación*

Posteriormente los huevos se colocaron en la solución de hibernación sugerida por Johnson *et al.* (2002) y se agitaron suavemente (hasta llegar a la homogenización) aproximadamente durante diez minutos con el objeto de permear a los organismos y asegurar la conservación de la viabilidad. Posteriormente, se guardaron un nuevo vial ámbar y conservaron en refrigeración a 2-4° C hasta su utilización.

#### *4.1.6.6 Validación del lote*

Se aceptó al lote si se obtuvo un porcentaje de viabilidad mínimo de 80% de organismos larvados (alta dentro de una población con estrategia reproductiva de ese tipo) y como definición de viabilidad se tomó la señalada en la NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual

menciona que, lo son aquellos huevos de helminto susceptibles a desarrollarse e infectar, y que pueden ser identificados mediante la presencia o ausencia de estadios larvarios. El valor antes mencionado se decidió para evitar falsos positivos en pruebas de contacto. Cabe destacar que solo en algunas ocasiones se consideró dicho valor.

#### 4.1.6.7 Pruebas en medio nulo y sugerido

Se validó el lote mediante pruebas de viabilidad en a) pruebas nulas y b) pruebas de solución de incubación con el objeto de conocer la factibilidad del empleo de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N como solución de incubación, la cual es sugerida por Thompson y Crandall (1979), así como la metodología señalada en Adams y Kayes (1979).

Para ello en ambos casos se tomaron 15 huevos de *T. canis*. Esa cantidad fue elegida debido a que ese es el promedio de huevos de helminto tomado en el influente de una PTAR en la ciudad de México de acuerdo con Jiménez (2006) y Morales (2010). Adicionalmente, en la Tabla 4-1 se refieren algunos valores de huevos de helminto encontrados en el agua residual de diferentes países. Posteriormente, se colocaron en una caja de Petri plástica, y se adicionó con a) con agua esterilizada, destilada y desionizada y b) con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 0.1 N.

**Tabla 4-1. Contenido de huevos de helminto en agua tratada y en lodos de diferentes países. Tomado de Jiménez (2007)**

País/region	Agua tratada h/L	h/L de sólidos totales
Países en vías de desarrollo	70-3000	70-735
México	6-98	73-177
Brasil	166-202	75
Egipto	*	67(Promedio)-735 (máximo)
Ghana	*	76
Marruecos	214-840	*
Jordania	300	*
Ucrania	60	*
Estados Unidos	1-8	2-13
Francia	9-10	5-7
Alemania	≤ 40	< 1
Reino Unido	*	< 6
Pakistán	≈710	*

(\*)= No señalado



Para ambos casos se efectuó una incubación por un periodo de cuatro semanas a  $26 \pm 2$  °C como se señala en Adams y Kayes (1979), dejándose la tapa del tubo floja para dejar entrar aire y por lo menos una vez por semana se verificó el nivel del ácido, el cual debía permanecer constante; en caso contrario se adicionó lo suficiente para conservar el nivel requerido.

#### 4.1.6.8 Pruebas de viabilidad del lote

Se empleó el procedimiento antes referido en el punto anterior inciso “b” (ya validado). Posteriormente una muestra fue colocada en una cámara DONCASTER y se observó al microscopio estereoscópico, donde se llevó a cabo la separación y conteos necesarios para determinar la viabilidad (criterio previamente definido). En la Figura 4-3 se observa un organismo ya larvado tratado con la técnica antes mencionada.



**Figura 4-3. Obtención de la larva de *Toxocara canis***

#### 4.1.6.9 Destino del lote

La muestra total fue dividida en cuatro partes como se observa en la Figura 4-4 y que se detallan a continuación.

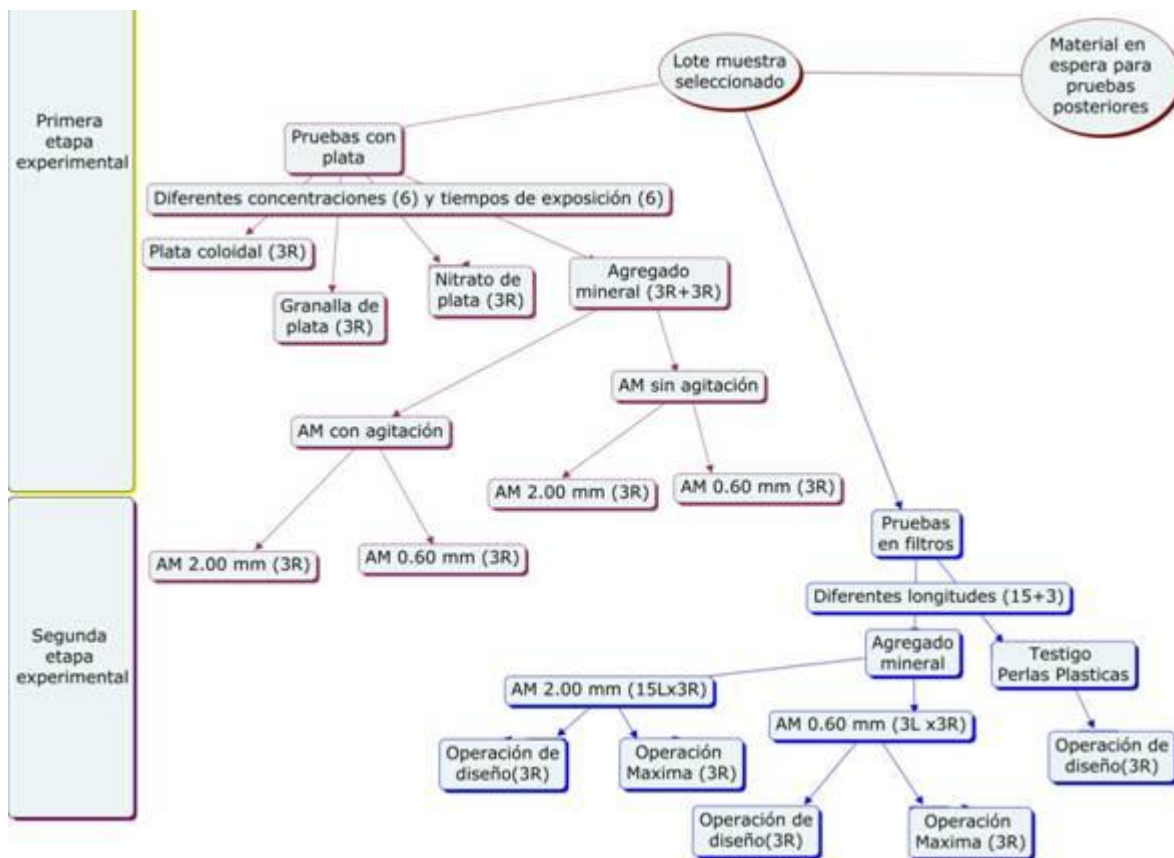
- 1.-Una parte se mantuvo en stock para pruebas complementarias. (Primera parte experimental)
- 2.-Pruebas de contacto con los diferentes agentes de plata propuestos (plata coloidal, granalla de plata,  $\text{AgNO}_3$ ). (Primera parte experimental)

3.- Pruebas de contacto con el AM en sus diferentes granulometrías (2.00 y 0.6 mm) (primera parte experimental)

4.- Pruebas en filtros empacados con AM y Perlas Plásticas (PP) (Segunda parte experimental)

En todos los casos se tomaron los huevos, se contabilizaron, separaron en cajas de Petri plásticas de 1.73 cm de diámetro x 5 cm de altura (15 huevos de *T. canis* por muestra) como se observa en la Figura 4-4 y se mantuvieron en refrigeración a 4° C hasta su utilización. Todos los casos fueron efectuados por triplicado.

Para la segunda parte experimental correspondiente a la evaluación de los sistemas de filtros, se emplearon 15 muestras en AM 2 mm y la misma cantidad con medio de soporte inerte como testigos (PP) y tres con AM de granulometría 0.6 mm. Todos ellos de igual manera se efectuaron por triplicado.



**Figura 4-4. Destino de las muestras obtenidas a partir del lote experimental**  
 Donde: R= repeticiones; L= longitudes

#### 4.1.7 *Determinación de criterios de diseño*

Se consideró principalmente la respuesta de los organismos (*T. canis*) a diferentes concentraciones y al tiempos de exposición. Para ello, se evaluó el tiempo necesario en el cual se presentaba una disminución significativa de pérdida de viabilidad y desde ese punto se evaluó para lapsos de tiempo similares. En el presente trabajo, sólo se muestran los resultados obtenidos cada 30 minutos.

##### 4.1.7.1 *Tiempo de inactivación*

Consistió en el tiempo necesario en el cual los huevos de helminto pierden la susceptibilidad a desarrollarse, lo cual se relaciona directamente con la capacidad de infección. Se partió de los datos obtenidos en todas las pruebas realizadas en 4.1.7.2 y 4.1.7.3.

##### 4.1.7.2 *Pruebas en lote con plata*

Debido a que se carece de la información necesaria relativa a la existencia de inactivación para las concentraciones, tiempos de contacto y estados de oxidación de la plata en huevos de *T. canis*, se evaluaron bajo las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula  $H_0$  = La plata en sus diferentes estados de oxidación no inactiva a los huevos de *T. canis*.

Hipótesis alterna  $H_1$  = La plata en diferentes estados de oxidación inactiva a los huevos de *T. canis*.

Con objeto de conocer si la plata ejerce un efecto nocivo sobre los huevos de *T. canis* se expusieron en contacto directo con los compuestos de plata señalados a continuación en:

a) Plata coloidal ( $Ag^0$  y  $Ag^{1+}$ ), b) Granalla de plata ( $Ag^0$ ) y c) Nitrato de plata  $AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ ); todos ellos a diferentes concentraciones y tiempos de contacto, lo cual sirve para evaluar la viabilidad del uso de plata como desinfectante aplicado a los huevos de helminto.

Adicionalmente, proporciona información (datos útiles) para comprender el mecanismo de interacción entre el organismo y el desinfectante (plata en diferentes presentaciones con diferentes estados de oxidación), así como elementos para el diseño de filtros desinfectantes, dentro de los cuales se encuentran: concentraciones útiles para inviabilizar huevos de helminto, capacidades máximas de inactivación y tiempos de contacto para ejercer dicho efecto. Para las pruebas efectuadas se emplearon:

a) **Plata coloidal ( $Ag^0$  y  $Ag^{1+}$ )**

Se partió de una solución stock de plata coloidal comercial de concentración 3500 mg/L y se evaluaron como soluciones de contacto 0.05 mg/L (dosis sugerida) y 3500 mg/L (exceso). Se tomaron alícuotas con 15 huevos de *T. canis* (original y tres réplicas por concentración, de las cuales una funcionó como reserva en todos los casos). Posteriormente se colocaron en una caja de Petri plástica adicionando las diferentes concentraciones a un tiempo de contacto 50, 100, 150, 200, 250 y 300 min respectivamente, donde para favorecerlo se mantuvo en agitación ligera (velocidad 2/8) en un vortex (vortex genie-G560, scientific industry). Una vez transcurrido el tiempo correspondiente se adicionó en cada caso una solución compuesta por Tween 80 (Polisorbato 80), peptona, tiosulfato de sodio y lecitina de soya para detener el intercambio hacia el interior del organismo y por ende la reacción como lo sugiere Johnson *et al.* (2002). Posteriormente, se lavó con agua destilada en dos ocasiones y se retiró con pipeta Pasteur el sobrenadante. Se adicionó  $H_2SO_4$  0.1 N y se colocaron en las condiciones de incubación señaladas en 4.1.6.7. Al terminar dicho tiempo, se extrajeron y se examinaron al microscopio para comprobar la viabilidad mediante la presencia de la larva.

b) **Granalla de plata ( $Ag^0$ )**

A cada caja Petri plástica la misma cantidad de *T. canis* y granalla de plata marca Merck hasta obtener 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 y 3.00 g/L a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos, respectivamente, los cuales se mantuvieron en agitación constante ligera (2/8) con un vortex (vortex genie-G560, scientific industry). Habiendo transcurrido el tiempo se retiró la plata con pinzas de plástico y posteriormente se lavó en dos ocasiones con la solución de Tween 80 antes mencionada y se procedió de la misma manera que en el inciso anterior.

c) **Nitrato de plata  $\text{AgNO}_3$  ( $\text{Ag}^{1+}$ )**

Se tomó la misma cantidad de huevos que en el inciso anterior, los cuales se colocaron en cajas de Petri plásticas y se pusieron en contacto con una solución de nitrato de plata 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 y 3.00 g/L a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos, respectivamente (Figura 4-5) los cuales se mantuvieron en agitación constante ligera (2/8) con un vortex (vortex genie-G560, *scientific industry*). Habiendo transcurrido el tiempo se extrajeron los huevos de las del líquido con contenido metálico y se lavaron en dos ocasiones con la solución sugerida por Johnson *et al.* (2002) y se procedió de acuerdo a lo establecido en el inciso correspondiente a plata coloidal.

d) **Pruebas con AM ( $\text{Ag}^0$ ,  $\text{Ag}^{1+}$ ,  $\text{Ag}^{2+}$ )**

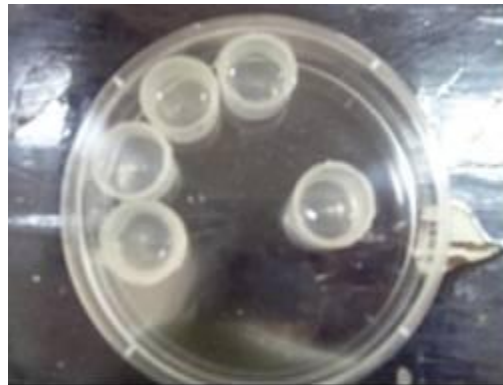
De igual manera se llevó a cabo para el AM con contenido metálico, pero en éste caso se realizó para los diferentes tamaños de grano a) Gruesa 2 mm y b) Fina 0.6 mm

En ambos casos modificaron los tiempos de contacto a 30, 60, 90, 120 y 180 minutos a una concentración de 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1 y 2 g/L. La cantidad de material a adicionar se calculó a partir del análisis cualitativo y cuantitativo realizado al AM. Dicho ensayo se dividió en dos partes a) sin agitación y b) con agitación

a) Se pesó en una balanza analítica de marca Sartorius BL-150 la cantidad de material necesario para obtener las concentraciones de plata antes mencionadas. Posteriormente se tomaron los huevos de *T. canis* y se depositaron junto con el AM en un tubo Corning, los cuales se dejaron en reposo hasta cumplir el tiempo de contacto correspondiente y se adicionó en cada caso la solución de Tween 80 (Johnson *et al.*, 2002) y 2 mL de sulfato de zinc heptahidratado  $\text{g/cm}^3$  para separar los huevos en esa fase como se señala en la NOM-001-ECOL-1996. Se agitaron levemente de manera manual para flotarlos durante 10 segundos y posteriormente se recuperaron con una pipeta Pasteur, se lavaron con agua destilada en exceso para retirar los restos de las soluciones adicionadas y se transfirieron a una caja de Petri plástica adicionando  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N como solución de incubación durante un mes a 26-28°C.

Al terminar el tiempo de incubación se extrajeron de la incubadora y se examinaron al microscopio para comprobar dicha viabilidad mediante la presencia de la larva.

b) Se procedió igual a lo establecido en el estudio de plata coloidal, solo que en esta ocasión se pusieron en agitación constante ligera (2/8) en un vortex (vortex genie-G560, *scientific industry*) hasta cubrir el tiempo predeterminado. Una vez transcurrido se retiró de agitación y se recuperaron los huevos como se señaló en el punto anterior.



**Figura 4-5. Separación de bloques**

#### **4.1.7.3 Capacidad máxima de desinfección**

Se basa en la capacidad de interacción de los agentes desinfectantes con los organismos objetivos, lo cual está influenciado principalmente por la estructura del organismo, velocidad de penetración, resistencia (no constante en una población) (Begon *et al.*, 1990), mecanismo de acción, capacidad de reparación, nivel de daño estructural, reacciones sucesivas, objetivos críticos, idénticos o similares, eventos letales; parciales o totales, directos o inducidos, entre otros. De igual manera, por las características propias del proceso como mezclado, aleatoriedad, probabilidad de impacto, difusión, solubilidad y eventos estadísticos.

Para determinar la capacidad máxima de inactivación ofrecida por el agente desinfectante, se partió de las pruebas de contacto señaladas en la sección 4.1.7.2, sólo que para éste caso particular, se extendió el tiempo de exposición, pero con las mismas dosis. En todos los casos se evaluaron los tiempos de contacto (30, 60, 90, 120 y 180 minutos) y en cuanto a la dosis aplicada fue de 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1 y 2 g/L. Es importante señalar que se extendió el tiempo de exposición hasta no encontrar una diferencia significativa en el resultado previo obtenido, con lo cual se dio por finalizada la prueba.

#### 4.1.7.4 MEB para huevos de *T. canis*

Una vez recuperados los organismos, algunos de ellos se separaron y colocaron en glutaraldehído al 3% (para llevar a cabo la conservación del tejido), después con el objeto de retirar el exceso de solución se realizaron lavados sucesivos con una solución de fosfatos. Posteriormente se bañaron en tetraóxido de osmio hasta obscurecerlos (contraste) y se dejaron secar y por último se llevó a cabo el recubrimiento de las muestras con hoja de oro con una ionizadora JEOL JFC 1100. Una vez acondicionados, fueron observados en un equipo microscopio electrónico de transmisión marca JEM 1200 Ex-11, en el cual se efectuaron las fotografías correspondientes donde se busca evidenciar el daño provocado (principalmente con AM).

#### 4.1.7.5 Límites Máximos Permisibles (LMP) por elemento y capacidad de disolución del AM

El AM se encuentra conformado por diferentes elementos, donde algunos de ellos pueden ser considerados como peligrosos y otros se encuentran normados. El proceso prevé un deslavado del material, es por ello que se efectúa una comparación con la normatividad que pudiera aplicar (Tabla 5-4); en ella se encuentran los LMP aplicables en la normatividad mexicana de acuerdo al tipo de descarga o al uso posterior contenido correspondientes a las NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997, NOM-127-SSA-1994 y NOM-052-SEMARNAT-2005, las cuales podrían ser aplicables de primera instancia al filtro o en su posterior ubicación.

## 4.2 Segunda parte experimental

Comprendió el diseño y la construcción de filtros a escala laboratorio, tanto para el AM en sus diferentes granulometrías 2 y 0.6 mm, como para las PP con diámetro de 2 mm, así como las tandas o corridas experimentales para determinar capacidad filtrante y la pérdida de viabilidad de *T. canis* en dos tipos de operación (OD y OM). Ésta parte, constituye la continuación de lo señalado en la Figura 4-6 y se complementa con el ANEXO I y III.

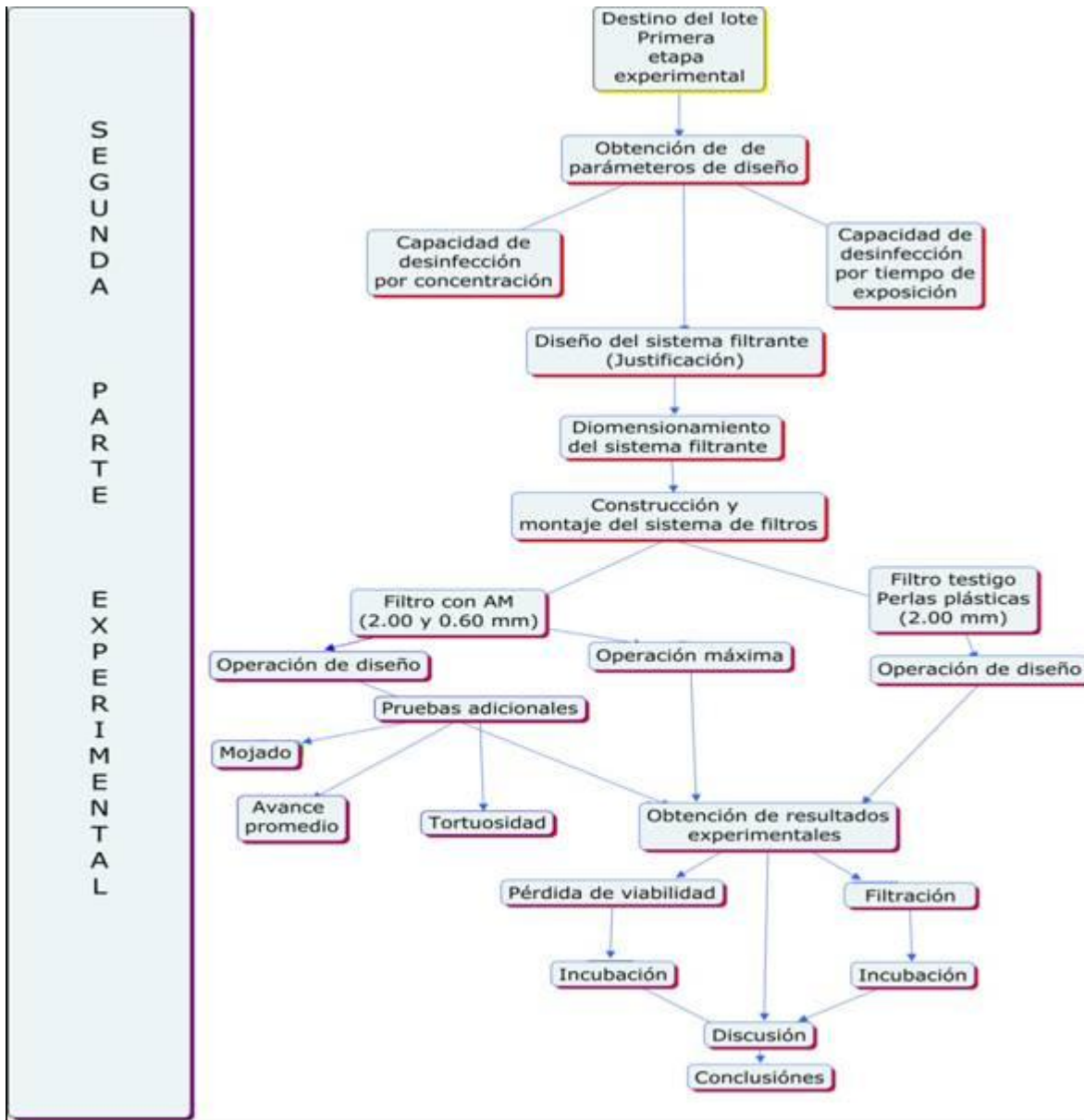


Figura 4-6. Metodología empleada en la segunda parte experimental

#### 4.2.1 Diseño del sistema filtrante

Se pretende realizar un filtro que sea una alternativa para inactivar a los huevos de helminto, que adicionalmente sea de bajo costo, fácil obtención, altamente reproducible, bajo mantenimiento, evitando el uso de energía eléctrica y equipos complementarios, que no genere compuestos tóxicos secundarios y por último que su manejo y transportación sean seguros. Primordialmente que sea efectivo al obtener resultados a tiempos de



exposición y concentraciones bajas. La conceptualización a manera de justificación y posterior diseño, dimensionamiento y construcción del sistema filtrante, se efectuó en función a los resultados obtenidos de las pruebas experimentales y adicionalmente se consideraron:

a) Contención y distribución; b) tortuosidad; c) material de empaque d) arreglo e) Tipo de filtro; e) selección de materiales; f) longitud de los filtros; g) área superficial del filtro; h) tiempo de contacto y concentración i) recolección del filtrado.

Los puntos mencionados anteriormente se detallan del punto 4.2.1.1 al 4.2.1.10 para la parte correspondiente a diseño del sistema filtrante y del punto 4.2.2.1 al 4.2.2.10 se encuentran los criterios considerados para el diseño del filtro.

#### *4.2.1.1 Contención y distribución del sistema filtrante*

El sistema consiste en un tanque, el cual se encargó de contener el agua a filtrar, un sistema de alimentación constituido por un tubo que recorre todos los filtros a través de la barra de soporte superior y una barra inferior (Figura 4-7); ambas para dar resistencia y posición (inclinación y altura) adecuada al sistema y por último un sistema de regulación manual de flujo para asegurar el gasto establecido.

Los organismos fueron adicionados manualmente por la parte superior del filtro para tener un mayor control seguimiento de los organismos (tiempo de residencia, avance en el medio y daños presentados).



Tanque de alimentación



Tubería de distribución

**Figura 4-7. Sistema de alimentación**

#### 4.2.1.2 *Tortuosidad*

Consistió en el recorrido parcial o total que sigue una partícula en un lecho y es definido como el cociente entre la longitud de las canales en el medio poroso ( $L'$ ) y la longitud del lecho ( $L$ ). Para ello, se partió de la suposición teórica en la cual dicho cociente es igual a la unidad. Es un parámetro importante a considerarse, debido a que se desconoce el grado de interacción del AM con el organismo así como del recorrido hidráulico dentro del filtro.

#### 4.2.1.3 *Material de empaque*

Se empleó AM con granulometrías 2 y 0.6 mm debido a las condiciones de hidráulica y filtración que ofrece, así como por lo señalado en la Figura 4-10, mientras que con el uso de la de 0.6 mm se busca tener una mayor área superficial al favorecer la exposición de sitios activos de contacto y reforzando con ello el efecto desinfectante (químico y mecánico).

#### 4.2.1.4 *Arreglo*

El filtro se conformó por dos capas: la parte superior compuesta por AM de 2 mm (150 cm) y la parte inferior por el de 0.6 mm (30 cm) a manera de pulimento, lo cual se detalla en el ANEXO III. La alimentación y funcionamiento se lleva a cabo de manera descendente, ya que se pretende evitar el uso de energía eléctrica.

#### 4.2.1.5 *Tipo de filtro*

El filtro que se intenta emplear de acuerdo a Metcalf y Eddy (1996) se clasifica como un filtro lento al no manejar una velocidad de filtración mayor de  $14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  y pretende simular los fundamentos, principios, propiedades mecánicas y físicas que presenta uno de arena-grava-antracita. En WHO (2009) se señala que, es uno de los sistemas filtrantes más efectivos, simples y económicos y es apropiado para áreas rurales, donde sus características de costo y mantenimiento son bajas, adicionalmente requiere poco o ningún equipo especial, facilita el uso de materiales y de mano de obra local con poca o nula preparación especializada.

Una de las características principales de dichos filtros es que en la superficie del lecho se forma una película que potencializa el efecto filtrante, la cual que consiste en material orgánico e inorgánico retenido, el cual promueve el crecimiento de microorganismos activos biológicamente que descomponen la materia orgánica. Es importante señalar que en éste caso se verá minimizado; debido al efecto desinfectante que se busca promover.

#### *4.2.1.6 Selección de materiales*

Todo el material a emplearse es de naturaleza plástica, ya que en general los huevos de helminto presentan adhesión al vidrio.

#### *4.2.1.7 Longitud de los filtros*

En ACE (2010) y Auvinet (1982) se señala que los filtros lentos no deben tener una profundidad mayor a 2 m, ya que para valores superiores se observa una disminución de su efectividad, donde por criterio de diseño se establece, que una tercera parte del lecho debe estar conformado por el material filtrante con menor diámetro (0.6 mm). Adicionalmente para las aplicaciones posteriores que se persiguen no es conveniente realizar filtros con una profundidad mayor.

Con el objeto de conocer progresivamente el efecto del AM sobre la viabilidad de los organismos se evaluaron diferentes longitudes de filtros. En Felder y Rosseau (1986) y Metcalf y Eddy (1996) se sugiere que las tomas de muestra deben efectuarse cada 10 cm, ya que en teoría de filtración se observan diferencias significativas a dicha distancia. Con el objeto de conocer el comportamiento filtrante e inactivante ocurrido en el filtro se llevo un seguimiento para cada longitud de 10 cm hasta llegar a la correspondiente a diseño (180 cm).

#### **4.2.1.8** *Área superficial del filtro*

Se empleó PVC hidráulico comercial de ½ pulgada (0.0127 m), ya que se pretende eliminar las zonas muertas, no favorecer canalizaciones ni acumulaciones y monitorear el tiempo de residencia del huevo de *T. canis*.

#### **4.2.1.9** *Tiempo de contacto y concentración*

Se determinaron a partir de la cantidad de plata necesaria para provocar la máxima pérdida de viabilidad (obtenida anteriormente 2.00 g/L), la cual se relaciona directamente con la cantidad de material empacado en el filtro y de 120 minutos.

#### **4.2.1.10** *Recolección del filtrado*

El agua y los huevos de *T. canis* fueron colectados en vasos plástico y pasados por un filtro acoplado donde quedan retenidos después de cumplir su tiempo residencia.

### **4.2.2** *Dimensionamiento del filtro*

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas de contacto en 5.2.4.1 y 5.2.4.2 se determinó la capacidad máxima de desinfección teórica (91.2%) y cantidad de plata requerida para obtener el máximo poder desinfectante (2 g de Ag). Dichos parámetros sirvieron para determinar el tiempo de residencia hidráulico mínimo requerido, tiempo de contacto (teórico) y concentración mínima de plata necesaria para producir una inactivación en *T. canis*.

#### **4.2.2.1** *Contención y distribución*

Se empleo un contenedor plástico de 19 L, el cual alimentó con agua destilada, desionizada y esterilizada al sistema a través de un tubo plástico de 1.00 cm de diámetro con ayuda de una bomba sumergible para pecera marca Sirocco modelo G125 con capacidad de desplazar 200 L/h. Cabe destacar que ella fue usada solo para tener un estricto control del gasto

suministrado. Al final de ellas contenían una válvula dosificadora de flujo (empleadas en peceras) con una aguja de dispersión, la cual se acopló para disminuir la creación de canalizaciones (Figura 4-8), Las válvulas se abrieron hasta obtener el gasto calculado en 0.04 L/h, rectificándolo con una probeta de 10 mL por duplicado, en todos los casos, de vez en vez durante el experimento. El agua filtrada se recuperó para asegurar un gasto constante (presión hidrostática). Por último, taponos de inserción para asegurar la correcta caída del flujo.



Válvula dosificadora



Tapón de filtro



Efecto hidráulico producido

**Figura 4-8. Sistema de distribución**

#### 4.2.2.2 *Tortuosidad*

Debido a que se trata de un filtro profundo fue importante estimar el cambio de la tortuosidad en función de la longitud del filtro, lo cual permite realizar escalamientos y redimensionamientos posteriores.

#### 4.2.2.3 *Material de empaque*

La cantidad de material a emplearse de AM (2 y 0.6 mm) que se observa respectivamente en la Figura 4-9 fue calculado de acuerdo al volumen disponible en el tubo de PVC y al valor total teórico del contenido de plata necesario para producir el máximo poder desinfectante, así como el tiempo de residencia teórico (fijado en 120 minutos) por medio de la densidad del material y de la capacidad máxima del desinfectante.



AM triturado  $d_{90}= 2$  mm



AM triturado  $d_{90}= 0.6$  mm

**Figura 4-9. Material de empaque usado en los filtros desinfectantes**

#### *4.2.2.4 Arreglo*

Debido a que las pruebas de contacto con AM resultaron favorables en ambos ensayos (2 y 0.6 mm), se conservó como se tenía previsto inicialmente, es decir un filtro con doble lecho con diferencia granulométrica, el cual se puede observar en la (Figura 4-10). Con ello se pretende ocasionar en la primera etapa (material grueso) principalmente daño mecánico y en menor proporción daño químico, mientras que en la segunda parte (granulometría fina) se pretende potencializar ambos con un menor espacio intersticial y una mayor área de exposición y evitar taponamientos, disminuyendo con ello la periodicidad del mantenimiento.

#### *4.2.2.5 Tipo de filtro*

Se optó por un sistema de filtración descendente, ya que se encontró en las pruebas con agitación que no se requiere de una fuerza adicional para provocar un daño mecánico a los huevos de *T. canis*. Se pretende instalar en condiciones rurales (precarias) y de bajos recursos, donde es normal un bajo mantenimiento. Igualmente se busca una alta durabilidad y ser empleado en ausencia de energía eléctrica.

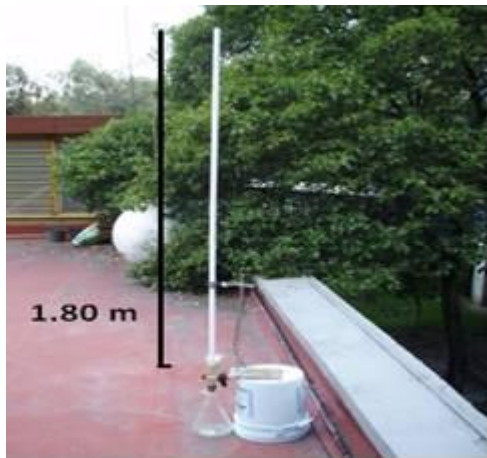
#### 4.2.2.6 Selección de materiales

Debido a que se requiere que los huevos tengan el mayor contacto con el medio filtrante y que no se queden adheridos al material del contenedor, se seleccionó un material que no tuviera adhesión a los huevos, la cual se evaluó en varias ocasiones mediante el contacto de ambos y su posterior recuperación para PVC, mangueras y vasos contenedores Millipore. Se encontró que no existe adhesión en ninguno de ellos, ya que se recuperó la totalidad del material helmintológico introducido (100% en todos los casos). Es por ello que se optó por emplear PVC.

#### 4.2.2.7 Longitud de los filtros

Las dimensiones del filtro (dual) fueron obtenidas de acuerdo al tiempo de residencia requerido, así como por algunas otras ecuaciones de filtración, hidráulicas y por las pruebas de filtración, resultando así de 110 cm (AM 2 mm), aunque se incluye un porcentaje de protección ( $\approx 38$  cm) ya que el material presenta anisotropías, adicionalmente calculado mediante probabilidad equivalente al cociente de  $L'/L = 1$  con 2 g de contacto efectivo, quedando así redondeado en 150 cm, con ello, se asegura el contacto efectivo con la dosis requerida. Mientras que para AM 0.6 mm, se conservó el criterio de diseño original (1/3 parte del filtro original  $\approx 36$  cm). Debido a la efectividad prevista del lecho anterior y por cuestiones de mantenimiento se redujo a 30 cm, quedando un total de 180 cm (Figura 4-10). Se efectuó la toma de muestras a cada 10 cm como se señaló en 5.4.1.7.

Como se mencionó anteriormente, se dará un seguimiento de porcentaje de filtración y de inactivación a cada segmento (10 cm); por lo cual se construyeron 15 filtros (desde 10 hasta 150 cm con granulometría 2 mm) y tres filtros de 10, 20 y 30 cm con 0.6 mm.



Especificaciones: Escala 1:14; parte superior AM 2 mm (150 cm); parte inferior AM 0.6 mm (30 mm); ancho 0.127 cm.

**Figura 4-10. Filtro desinfectante empacado con AM con granulometrías 2.00 y 0.6 mm**

#### 4.2.2.8 Área superficial del filtro

Fue determinada con base a la relación existente entre la longitud y el contenido de AM necesario para brindar el efecto desinfectante previsto. Con el objeto de minimizar áreas muertas, acumulaciones y recirculaciones se empleó tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro (1.27 cm) con un contenido de plata de 0.0001 mg de Ag  $\pm$   $\approx$  25 % en área superficial.

#### 4.2.2.9 Tiempo de contacto

A partir de las pruebas de contacto se establecieron dos hipótesis para determinar ambos parámetros (TRH y concentración de plata), las cuales solo son aplicadas para éstas determinaciones:

$H_0$ = No existe diferencia entre los tratamientos a diferentes tiempos de contacto.

$H_1$ = Existe diferencia entre los tratamientos a diferentes tiempos de contacto.

Con un tiempo de contacto de 120 minutos. Los cálculos detallados que lo sustentan se encuentran contenidos en el ANEXO I, III y IV del trabajo.



#### 4.2.2.10 Recolección del filtrado

A partir de las pruebas preliminares se prevé un daño estructural que puede ir de ligero a severo; incluyendo inclusive la ruptura total del organismo. Por ello la recuperación, recolección y posterior contabilización del material filtrado se realizó acoplando un filtro de polielulosa de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro marca Millipore, el cual es suficientemente pequeño para retener al organismo hasta 1/155<sup>ava</sup> parte del diámetro total de *T. canis*); sin causar problemas de azolvamiento para el filtrado. Asimismo para la recuperación se empleó un equipo Millipore de plástico que contiene un vaso de recolector, un embudo ranurado filtrante, una pinza para sujetadora y un kitasato con bomba de vacío (Figura 4-11)



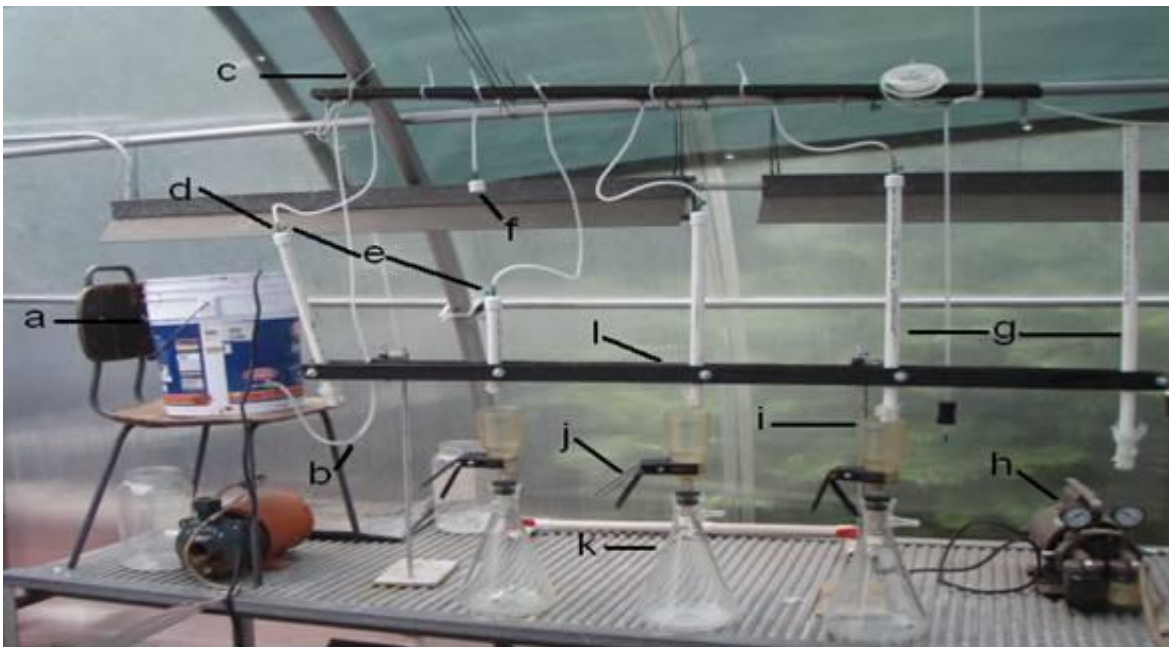
**Figura 4-11. Sistema recolector de filtrados (equipo Millipore)**

#### 4.2.3 Construcción del sistema filtrante

Se buscó que cumpliera con condiciones de bajo costo y practicidad, por lo cual no se emplearon sistemas de automatización, ni equipos o accesorios que fueran de difícil disponibilidad o que requirieran de energía eléctrica.

El sistema se conformó por tres partes a) Sistema de distribución; b) Filtro y c) Recolección y recuperación de los huevos de helminto. Todos ellos se muestran en la Figura 4-12

- a) El sistema se encuentra constituido por todo el material con las especificaciones señaladas desde el punto 4.2.1.1 hasta el 4.2.1.10, las cuales fueron aplicadas para los filtros en todas sus longitudes; tanto para AM como PP.
- b) Se encuentra conformado por los apartados 4.2.1.3 a 4.2.1.8. Al final de cada filtro se empleó malla con 0.40 mm de diámetro de apertura de poro para contener el medio filtrante, los cuales fueron asegurados con cinturones plásticos o con abrazaderas metálicas de acuerdo a la cantidad de material a soportar.
- c) Se conforma por los equipos señaladas en el apartado 4.2.1.9



Donde: a) Contenedor; b) sistema alimentador; c) Soporte superior; d) llave dosificadora; e) aguja dispersora; f) tapón de filtro; g) filtro; h) bomba de vacío i) vaso colector; j) pinza; k) kitasato; l) soporte inferior.

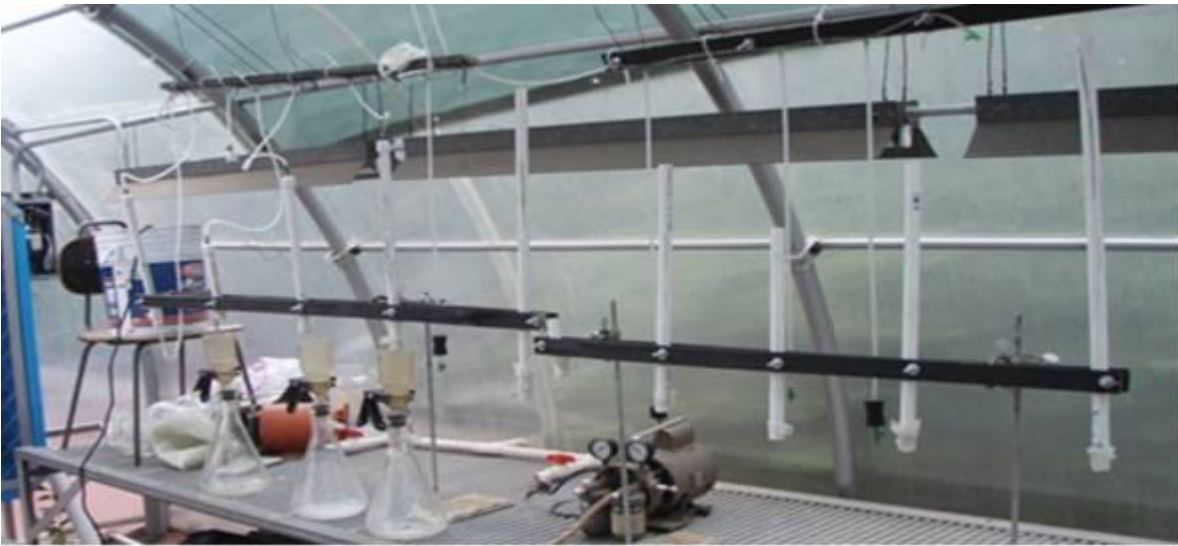
**Figura 4-12. Sistema experimental de filtrado para huevos de *T. canis***

#### 4.2.4 Ensayos en columnas empacadas a diferentes escalas

Se efectuaron dichas pruebas con el fin de evaluar el efecto filtrante y desinfectante producido por AM, así como corroborar los criterios de diseño y dimensionamiento previamente realizados.

Para ello, se emplearon los sistemas señalados en la Figura 4-13, los cuales van desde 10 cm de altura hasta 150 con diferencia de 10 cm entre cada uno (15 en total) y que se encuentran empacados con AM de 2.00. Asimismo, se construyeron otros tres con AM de diámetro 0.6 mm. La disposición y el número de ellos fueron con base a diseño en función de los resultados obtenidos en las pruebas de contacto con plata, tiempo de contacto, concentración (señalada en la memoria de cálculo en el ANEXO III), pruebas con plata y caracterización fisicoquímica del AM.

De igual manera, se construyó otra serie de filtros (15) con el mismo criterio, donde se respetó el tamaño de partícula antes mencionada, solo que a diferencia del anterior el medio de soporte estuvo constituido por perlas plásticas (inertes) que sirvieron de testigo para observar las diferencias existentes del efecto filtrante y de inactivación entre un ambos tipos de empaque.



**Figura 4-13. Pruebas de filtros experimentales de diferentes longitudes**

#### **4.2.5 Operación del sistema filtrante**

Se efectuó en dos formas diferentes a) operación de diseño (OD) y b) operación máxima del sistema (OM)

Las corridas experimentales se conformaron por un total de 144 tandas consecutivas de 83.6 mL para los filtros de 150 cm y 100 mL para los correspondientes a 180 cm.

El experimento se dio por finalizado hasta recuperar la totalidad de los organismos insertados y en caso contrario se extendieron hasta un tiempo límite de diez días en todos los casos (para todas las longitudes y tipos de operación).

Se realizaron pruebas tanto para el AM de 2 como para 0.6 mm en las longitudes previamente definidas, ello ya que se pretende comparar los medios de soporte y las eficiencias de filtrado e inactivación.

a) Se empleó un gasto de 0.04 L/h, un TRH de 1.73 h (103.8 min en el filtro de 150 cm): se tomó en ambos casos para los dos medios de soporte, mientras que para el filtro completo (180 cm) se obtuvo un tiempo de 120.4 min como se observa en el ANEXO III con una capacidad de tratamiento de 1.7 L/d.

b) Este tipo de operación se incluye para conocer el comportamiento filtrante e inactivante observado máximo permisible por diseño del sistema, para probar su flexibilidad y resistencia, así como la utilidad de las secciones de protección y pulimento incorporadas. Estas características permiten una mayor capacidad de tratamiento y se relacionan directamente con la calidad de entrega final del caudal tratado.

La operación se efectuó con la apertura completa de todas las válvulas, llegando a un gasto de 0.47 mL/seg, una capacidad de tratamiento de 40.6 L/d y un TRH de 3.5 min, el cual solo fue medido en el caso del filtro empacado con AM a las mismas longitudes (150 cm con 2 mm y 30 cm con 0.6 mm).

#### **4.2.6 Obtención de resultados**

Se generó el comportamiento global del sistema a partir de los resultados obtenidos en las corridas experimentales efectuadas bajo las condiciones de operación señaladas en el punto 4.2.5, dentro de las cuales se evaluó la capacidad filtrante en función de la profundidad del lecho y tiempo de operación, así como la capacidad de pérdida de viabilidad ofrecida por las variables antes mencionadas. Todos ellos se detallan en los siguientes puntos. De manera adicional, se efectuó una comparación con algunos de los modelos cinéticos comúnmente empleados en desinfección (Tabla 3-5) para conocer el comportamiento desinfectante mostrado en el filtro.

#### *4.2.6.1 Curvas de operación y perfil de filtrado*

Esta actividad consistió en la representación gráfica de los comportamientos de los filtros de diferente longitud ( $\Delta L$ ) estudiados, en la forma de operación del sistema filtrante el cual relaciona la cantidad de material filtrado y la pérdida de viabilidad con respecto a la longitud del lecho y de tiempo de operación, respectivamente. En éste caso se representan las dos, ya que se busca la doble finalidad.

#### *4.2.6.2 Comparación con modelos cinéticos*

Como se observa en la Tabla 3-5, donde se encuentra una compilación de los modelos empleados comúnmente en la desinfección ninguno se acopla a este trabajo en particular. A pesar de ello, en función de las consideraciones hechas para cada ecuación se pretende efectuar una comparación con Chick y Watson-Chick, los cuales se detallan en el ANEXO VI.

### **4.3 Tratamiento de datos experimentales**

Se efectuaron diferentes procedimientos experimentales en el AM, organismos y en sistemas filtrantes para poder dimensionar los filtros, dentro de los cuales se encuentran datos de la caracterización del material (físicas y fisicoquímicas), viabilidad de los organismos, tiempos de contacto, porcentajes de remoción y de inactivación de huevos de helminto ocasionados por una solución de plata. Así como las pruebas correspondientes a sistemas filtrantes con AM y PP, donde se evaluó porcentaje de filtración y de pérdida de viabilidad medio filtrante en dos tipos de operación OD y OM, respectivamente. Con el objeto de extraer información adicional se efectuaron algunos tratamientos adicionales de diversos tipos. Todos ellos se detallan en los siguientes puntos.

#### 4.3.1 *Caracterización del AM*

El AM constituye el núcleo del sistema filtrante, por lo cual se llevó a cabo su caracterización física y fisicoquímica. El método, así como la forma del cálculo se particularizan en el ANEXO I y a continuación.

#### 4.3.2 *Análisis multielemental*

Debido a que el AM se encuentra conformado por una gran cantidad de elementos y adicionalmente presenta anisotropías y por ello es importante conocer la proporción y distribución en la que se encuentra conformado. Se integró una tabla con el contenido cuantitativo (%) de los elementos químicos que componen al AM a partir de los análisis llevados a cabo con ayuda de la MEB con difracción de Rayos X.

Se evaluaron dos parámetros importantes a) Prevalencia y b) Abundancia, los cuales se calcularon a partir de las definiciones dadas en Margolis *et al.* (1982), adaptando el concepto para el caso particular de los elementos contenidos como:

- a) Porcentaje de zonas en las que se encontró un elemento particular.
- b) Número de zonas en las que se encontró un elemento particular.

#### 4.3.3 *Prueba estadística aplicada al AM*

Se aplicó una prueba no paramétrica de asociación de Olmstead–Tukey (Steel y Torri, 1981), la cual sirvió para la caracterización de las especies contenidas en el AM (dominantes, comunes, raras e indicatoras). Se eligió éste tipo de prueba, debido a que ninguna muestra cumple con una distribución normal. Adicionalmente estima la importancia relativa de cada una de los elementos al interior de la matriz, al tomar el logaritmo de la abundancia más uno ( $\log n+1$ ) contra los valores de la frecuencia de aparición o prevalencia de cada elemento y evaluar la media aritmética para trazar los ejes, que permiten obtener los siguientes cuadrantes:

I Elementos abundantes y frecuentes (dominantes)



II Elementos poco abundantes y frecuentes (comunes)

III Elementos poco abundantes y poco frecuentes (raros)

IV Elementos abundantes y poco frecuentes (indicadores)

#### **4.3.4 Determinación de las concentraciones elementales**

A pesar de que el material no presenta la misma conformación en todo el agregado se calcularon a partir de las concentraciones “promedio” obtenidas en el análisis por vía seca y uno en llama realizado en la mina de extracción, ya que se son fundamentales para efectos de los cálculos posteriores tanto en la caracterización general del AM y en los sistemas filtrantes.

#### **4.3.5 Determinación de los parámetros a evaluar en huevos de *T. canis***

El análisis se llevó a cabo a través de su búsqueda, conteo y determinaciones de la pérdida de viabilidad (inactivación) sufrido por el organismo al ser expuestos a los agentes con contenido metálico (plata coloidal, granalla de plata, nitrato de plata, AM y PP) a evaluarse después de su incubación.

#### **4.3.6 Viabilidad de los huevos de *T. canis***

Se evaluó mediante la contabilización de los organismos que presentaran estadios larvarios, la cual se determinó a dos niveles:

- Lote
- Muestras

Efectuándose como sigue:

$$\% \text{ de viabilidad} = \left[ \frac{(N - n_{\text{larvados}})}{N} \right] \times 100$$

Donde:

N = Número de huevos totales

$n_{\text{larvados}}$  = Número de huevos larvados

$$\% \text{ de viabilidad} = 100 - (\% \text{ de huevos larvados})$$

#### 4.3.7 Prueba de hipótesis

Se efectuó para determinar si es posible llevar a cabo la construcción de un sistema filtrante-inactivante, es decir si es que el AM ejerce un efecto de pérdida de viabilidad para *T. canis*. Asimismo se realizó con dos fines a) Para establecer la existencia de una diferencia entre los tratamientos a través de los resultados de porcentaje de pérdida de viabilidad entre los diferentes agentes con contenido de plata en sus diferentes estados de oxidación ( $\text{Ag}^0$ ,  $\text{Ag}^{1+}$ ,  $\text{Ag}^{2+}$ ) y b) para determinar el tiempo de contacto y concentración a la cual ocurre la máxima desinfección. Por lo cual para ambos casos se propuso una prueba de tratamiento estadístico de diferencia de medias y otro un análisis de varianza (ANOVA) de Fisher.

#### 4.3.8 Pruebas en filtros

El filtro fue evaluado empleando una especie de helmineto cuyos huevos presentan mayor resistencia ambiental en cuanto al tiempo de latencia y resistencia mecánica (brindada por el número y grosor de las capas de protección) en comparación con *Ascaris lumbricoides* (González, 2006).

En todos los casos se obtuvieron los tiempos de residencia y las pérdidas de viabilidad en el efluente del filtro para todas las muestras provenientes de las pruebas de filtros; tanto las testigos como las que estuvieron en contacto con el AM en sus diferentes granulometrías.

#### 4.3.9 Porcentaje de filtración de *T. canis*

Se refiere a la capacidad del filtro para remover los huevos del efluente en relación a la longitud del filtro o al tiempo de operación; se calculó como:



$$\% \text{ de remoción de helmintos} = \frac{(\text{helmintos}_{\text{finales}} - \text{helmintos}_{\text{iniciales}})}{\text{helmintos}_{\text{iniciales}}} \times 100$$

Donde:

Helmintos<sub>finales</sub> = número de helmintos a la salida del caudal

Helmintos<sub>iniciales</sub> = número de helmintos a la entrada del caudal

#### 4.3.10 Porcentajes de pérdida de viabilidad de *T. canis*

La evaluación fue posterior al contacto con el agente inactivante, por lo cual efectuó para las pruebas en solución con plata coloidal, granalla de plata, nitrato de plata y los agregados minerales, así como para las pruebas en el filtro empacado con PP y AM. El cálculo se realizó como sigue:

$$\text{Porcentaje de inactivación} = \frac{N_E - H_{Nlarv}}{N_E} \times 100$$

Donde:

N<sub>E</sub> = Número total de helmintos por muestra

H<sub>Nlarv</sub> = Huevos de helminto no larvados

#### 4.3.11 Toma de Imágenes

Debido a que no se cuenta con evidencias contundentes que muestren el daño provocado a los huevos de *T. canis* por el AM y que influyeran su posterior pérdida de viabilidad. Se llevó a cabo un registro fotográfico de las pruebas de contacto y de filtrado para todos los agentes (granalla de plata, nitrato de plata, AM 2.00 y 0.6 mm y PP) a todas las concentraciones y los tiempos de exposición evaluados (ANEXO V). Para ello, se emplearon dos diferentes tipos de microscopía a) microscopía óptica y b) microscopía electrónica de barrido. El primero brinda una visualización hacia el interior del huevo, pudiendo observar las partes sólidas y líquidas que componen al organismo, mientras que el segundo proporciona evidencia de daño estructural y deformaciones en las capas externas.

#### 4.3.12 Probabilidad de contacto con plata

Son dos valores enteramente estadísticos, los cuales son relevantes dentro de los sistemas filtrantes:

a) Probabilidad frecuencial de impacto con la plata y b) probabilidad de retención de acuerdo al espacio intersticial

a) Evalúa la probabilidad de un evento a partir del valor fijo al que tienden las frecuencias relativas de ocurrencia del evento de acuerdo a la regularidad estadística. Esta definición sería la más real, pero solo proporciona probabilidades aproximadas, es decir estimaciones; sin constituir valores reales. Adicionalmente los resultados se obtienen *a posteriori*, pues se necesita realizar el experimento para poder obtenerlo y se calculó como sigue:

$$\frac{x}{y} = \frac{P}{1 - P}$$

Donde

P= Probabilidad de que un evento ocurra

x; y = Eventos, tales que ambos son positivos

b) Dentro de los mecanismos propuestos en el sistema de filtrado se prevé que el cernido es importante a evaluar, por lo cual se empleó la ecuación de Hall, que evalúa la probabilidad unitaria de que un elemento a filtrar se quede retenido entre poro y poro (Metcalf y Eddy, 1996) y fue calculada como sigue:

$$P_r = \left[ \frac{d}{dc} \right]^{3/2}$$

#### 4.3.13 Tortuosidad y avance promedio de operación

Es uno de los factores que permiten caracterizar a las rocas porosas y se encuentra constituido por el recorrido que lleva a cabo una gota de agua a través de un lecho. Se recomienda tomar el cociente igual a 1 para criterios de diseño. Y de igual manera que en el inciso anterior el valor real se obtiene después de realizada la prueba.



$$T = \frac{L_e}{L}$$

Donde:

T=tortuosidad teórica

Le = es la longitud de las canales en el medio poroso [m]

L = es la longitud del lecho [m]

Adicionalmente, los filtros diseñados carecen de pendiente, lo cual refuerza la obtención de las condiciones de circulación del líquido dentro del agua, para obtener una explicación del proceso filtrante y desinfectante.

#### 4.3.14 Curva de operación

A partir de los valores de filtración y pérdida de viabilidad obtenidos para el AM y las PP, Se generaron las siguientes gráficas:

- Gráfica de  $\Delta L$  vs % de filtración.- representa la cantidad de organismos retenidos a medida que aumenta la profundidad del lecho.
- Gráfica de  $\Delta L$  vs % de huevos recuperados del medio.-Es la representación de los organismos que no se recuperaron en el filtrado y que pueden o no existir aún. Se incluye para fines de cuantificar un daño mecánico severo al huevo de *T. canis* (información precisa relativa al tipo de operación), que señala la cantidad (%) de organismos pudieron haber sido destruidos completamente por el lecho.
- Gráfica de  $\Delta L$  vs % de pérdida de viabilidad.- Es la gráfica complementaria al inciso anterior y consiste en una curva que incorpora la inactivación obtenida en cada segmento ( $\Delta L$ ).

Los incisos “a”, “b” y “c” fueron realizados para el AM y PP.

#### **4.3.15 Perfil de filtrado**

Se generó una gráfica que analiza la variación del porcentaje del filtrado para cada longitud evaluada, de acuerdo a la profundidad del lecho, con respecto al tiempo de operación (hasta 10 días).

#### **4.3.16 Análisis estadístico de sistemas filtrantes**

Se efectuó un análisis estadístico de ANOVA para establecer si existe o no una diferencia en cuanto al efecto filtrante y desinfectante, el cual fue comparado para sistemas idénticos de AM y PP.

#### **4.3.17 Comparación con los modelos cinéticos**

Debido a lo expuesto en 4.2.6.2 solo se muestra un análisis comparativo en contra de las ecuaciones de Chick y Watson-Chick, ya que para algunos otros modelos se requieren parámetros estadísticos, los cuales escapan del alcance del trabajo.

## 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Pruebas efectuadas al AM

Para el estudio se colectó y analizó un solo lote de agregado mineral proveniente de una mina que se encuentra ubicada en Zacatecas, a la cual se le efectuaron pruebas físicas y fisicoquímicas en el Laboratorio de Microbiología Experimental, UNAM, Unidad de servicios de apoyo a la investigación (USAI), Facultad de Química y pruebas *in situ* en el laboratorio de la mina. Las características físicas tanto del AM como de las PP (ambas con diámetro de 2-2.1 mm) se obtuvieron a partir de seis determinaciones (original y cinco repeticiones), las cuales se muestran en la Tabla 5-1. Estos datos del material son de utilidad para el diseño y dimensionamiento de los filtros.

#### 5.1.1 Pruebas físicas del agregado mineral

Se analizaron las propiedades señaladas en la Tabla 5-1 de los materiales. Dichos valores se obtuvieron siguiendo la metodología y los cálculos detallados en el ANEXO I.

**Tabla 5-1. Propiedades Físicas de los medios de empaque evaluados**

	AM 2 mm		AM 0.6 mm		PP 2 mm	
	$\bar{X}$	$\pm\sigma$	$\bar{X}$	$\pm\sigma$	$\bar{X}$	$\pm\sigma$
Densidad real [g/cm <sup>3</sup> ]	2.18	0.17	2.33	0.11	1.14	0.02
Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]	1.28	0.00	1.51	0.05	1.03	0.02
Porosidad (%)	40.88	*	35.19	*	9.38	*
Permeabilidad máxima (%)	26.49	3.67	25.99	1.22	16.09	2.41
Permeabilidad promedio (%)	15.33	1.23	15.00	1.59	13.96	3.26
Retención (%)	17.54	0.02	17.45	0.19	14.91	0.02
Factor de esfericidad (~)	0.83	*	0.83	*	0.83	*
Conductividad hidráulica [m <sup>3</sup> /día]	154	4.00	97.5	7.00	146	5.00

\* =No calculado, ya que para fines prácticos se parte del supuesto que se encuentra conformado por la media de los valores.

~ = de tablas (Metcalf y Eddy, 1996)

A pesar de que los resultados obtenidos en las pruebas físicas (Tabla 5-1) muestran valores similares en la porosidad, permeabilidad máxima y promedio, retención y factor de

esfericidad en ambas granulometrías (2.00 y 0.6 mm): se encontró a través de un análisis de ANOVA que existe una diferencia significativa (con un  $\alpha=0.05$ ) para cada una de ellas, lo cual se refleja en diferentes comportamientos hidráulicos (mayor contacto con el material filtrado, longitud de recorrido, de TRH, porosidad y sitios activos, por mencionar algunos) como se señala en Auvinet (1982).

En el caso de la densidad real, se observa que el AM es un material ligeramente pesado (2.18 y 2.33 g/cm<sup>3</sup>), lo cual se debe principalmente a la abundancia de silicatos (en forma de cristales), así como al grado de compactación que ofrecen en comparación con otros materiales empleados en filtros lentos (muy ligeros) como arena ( $\approx 1.65$  g/cm<sup>3</sup>) o antracita (0.6 mm;  $\approx 1.80$  g/cm<sup>3</sup>) y los pesados como caliza ( $\approx 2.68$  g/cm<sup>3</sup>) o grava ( $\approx 3.11$  g/cm<sup>3</sup>) (Turbidex, 2010).

La porosidad se encuentra dentro del intervalo de valores usado en los medios filtrantes con un  $\approx 30$ -50% (Crites y Tchobanoglous, 2000) al registrarse un 40.88% para 2 mm y 35.19% para 0.6 mm. Por lo tanto, una disminución de granulometría afecta a la porosidad al tener una menor cantidad de espacios disponibles (para este caso), dado principalmente por la eliminación de la espuma volcánica existente al exterior, lo cual es conveniente para el sistema desinfectante al ofrecer limitación para el desarrollo de la actividad biológica (UEX, 2009).

El material es poco permeable con 15 y 13% (para la mayor y la menor granulometría empleada en el trabajo) y que es similar a limos, arenas o antracitas (hasta un máximo del 50%) (CEPIS 2008b y Turbidex, 2010), lo cual es consecuencia de su geomorfología, ya que el contacto con el aire al momento de su formación es mínimo al ser de tipo intrusiva con enfriamiento rápido. Esta característica favorece la formación de mineral cristalino (poca porosidad y poca aceptación de líquido) con la consecuente disminución de materiales espumosos (Meléndez y Fuster, 2003).

El valor registrado en el caso de la esfericidad es el mismo para ambos casos (0.83), dado que fue obtenido de tablas como “factor de esfericidad” que no depende específicamente de las características particulares del material (Metcalf y Eddy, 1996), aunque visualmente existe un aumento de su esfericidad al disminuir la granulometría.

Sin embargo, con su disminución de 2 a 0.6 mm se buscó modificar principalmente la conductividad hidráulica para obtener un mayor tiempo de residencia hidráulico y área de contacto (Crites y Tchobanoglous, 2000). Lo anterior se logró conseguir al registrarse para la primera 154 y 97.5 m<sup>3</sup>/d para la segunda; es decir una disminución de 1/3 como se muestra en la Tabla 5-1. En comparación con otros materiales empleados en filtración de huevos de helminto como arcilla, limos, arenas y gravas, el material empleado posee una buena conductividad, ya que obtuvo valores similares a los obtenidos los medios antes mencionados (100-200 m<sup>3</sup>/d) (CEPIS, 2008b).

### 5.1.2 Pruebas Fisicoquímicas

Se determinaron las especies mineralógicas y elementales existentes en el AM a nivel cualitativo por difracción de Rayos X y cuantitativo por análisis multielemental (5.1.2.1).

#### 5.1.2.1 Difracción de Rayos X

La identificación de las especies contenidas en la roca se obtuvieron a través de las interpretaciones contenidas en la Figura 5-1 y Figura 5-2.

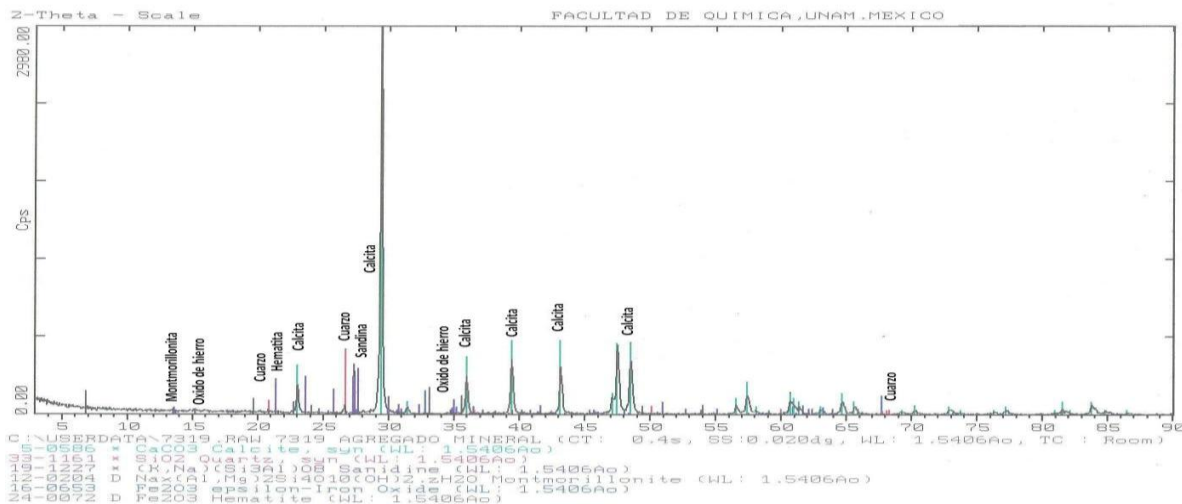


Figura 5-1. Difactograma del AM (de 0 a 90°)

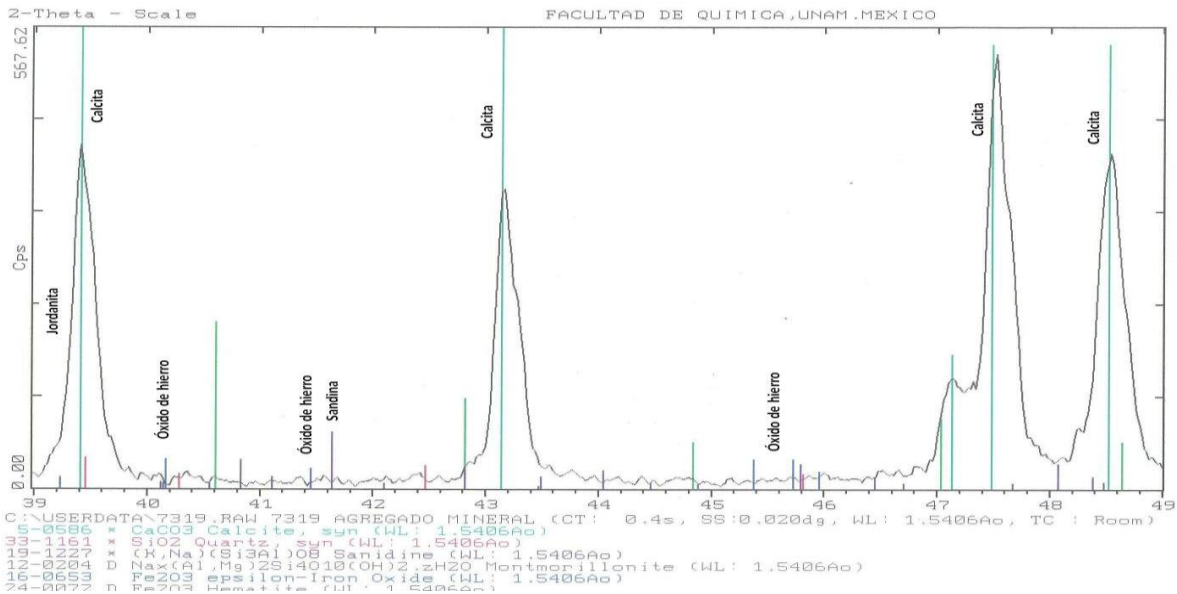


Figura 5-2. Difractograma del AM (de 39 a 49°)

Se puede apreciar que el AM contiene una matriz rica en silicatos, cuarcita, hematita y óxidos.

Tabla 5-2. Tipos de roca que componen al AM analizado a partir de difracción de Rayos X

Tipo de mineral	Formula Química
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Sanidinita	K(Si <sub>3</sub> Al) <sub>6</sub> (K <sub>2</sub> Na)
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>
Montmorillonita	Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>2</sub> (OH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O ó (Ca, Na, H) (Al, Mg, Fe, Zn) 2(Si, Al) 4O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> - 4H <sub>2</sub> O
Calcita	CaCO <sub>3</sub>
Nimita	(NiMgAl) <sub>2</sub> (SiAl) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> (NiMgFe <sup>2+</sup> ) <sub>5</sub> Al(AlSi <sub>3</sub> ) <sub>0</sub> <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

A partir de los análisis físicos, fisicoquímicos y geomorfológicos, puede decirse que el material se encuentra conformado por especies minerales de tipo volcánico, formación intrusiva, con rápido enfriamiento y con una dureza media promedio en la escala de Mohr (4-6) (Meléndez y Fuster, 2003). Esta propiedad se ve incrementada, en una unidad, probablemente por la presencia e incorporación de metales a la matriz mineral. Adicionalmente, dentro del AM se presentan especies químicas en conformaciones con



estados de oxidación inestables; en particular para este trabajo es la  $Ag^{2+}$  (con mayor efecto desinfectante) (Magaña *et al.*, 2010). En el caso de la nimita, de la montmorillonita o la bentonita, las cuales adicionalmente pueden incorporar a su matriz Al, Mg, Fe y Zn, donde algunos de ellos también tienen un poder desinfectante (Rodríguez-Toledano, 2009). Dicho material posee esas características peculiares principalmente por su origen metamórfico de tipo mestasomático, donde los factores determinantes para su formación son el intercambio de calor con el medio y la combinación con los elementos contenidos en la matriz mineral, lo cual favorece la alteración química y por ende la formación de dichas especies (Wilson, 1989).

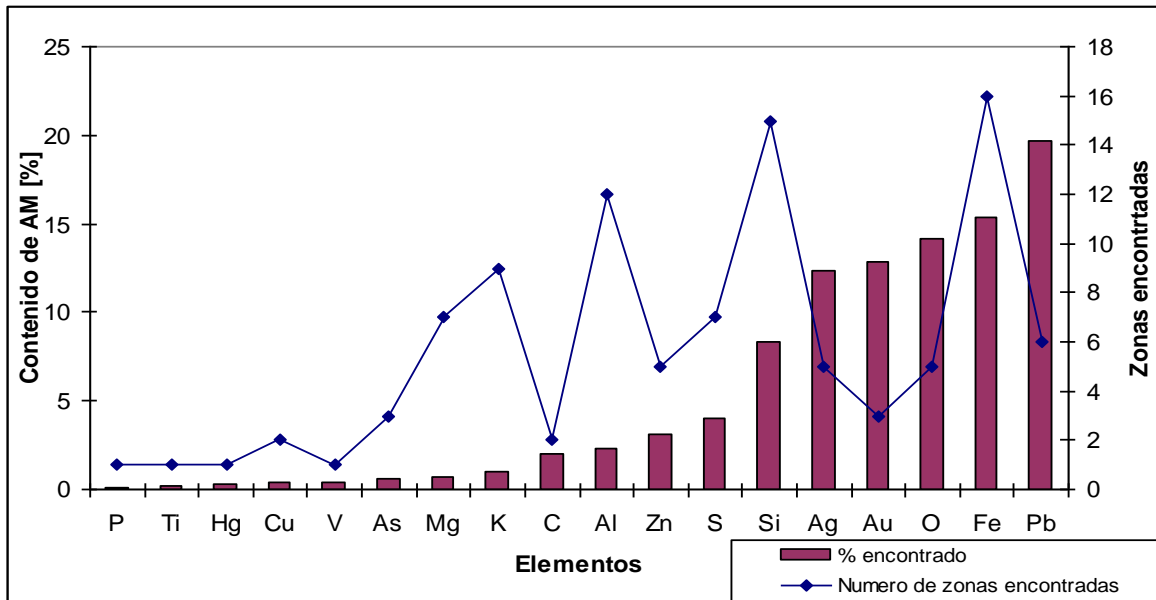
#### 5.1.2.2 Microscopía electrónica de barrido con detección de Rayos X

Se revisaron 19 zonas del AM las cuales se señalan en la Tabla 13-1 y que parten de un análisis porcentual multielemental (Miranda, 2005), donde se distinguen cinco grupos diferentes dentro del conformado y que se mencionan a continuación: a) Las zonas señaladas como 17, 18 y 19 que corresponden a las zonas cristalinas, las cuales reflejan la existencia de aluminio principalmente, b) roca amorfa con tonos, grisáceos y rojizos que sugieren la presencia de hierro (zonas 1, 6, 8 y 10), c) Las zonas 2, 3 y 7 que presentan brillo metálico es atribuible mayoritariamente a la plata, d) Las 13 y 16 presentan estructura cristalina con contenido de montmorillonita y e) Una zona de color amarillento metálico en las zonas 14 y 15 las cuales adquieren dicha característica debido al oro y al azufre.

La composición porcentual obtenida a través de MEB con Rayos X, antes mencionada, señala que el AM contiene 18 elementos, donde el plomo es el elemento con mayor representatividad (19.7%), encontrándose en seis zonas, seguido del hierro con 15.3% en 16, oro con 12.8 % en tres, plata como el quinto elemento en abundancia con 12.3% en cinco y el sílice 8.3% en 15. Es necesario señalar algunos metales de importancia, ya que en ciertas cantidades ellos son tóxicos: el arsénico con 0.60 % en tres, cobre 0.30 % en dos y plomo 0.2% en seis.

En la Tabla 5-3 se señala la dispersión de los valores elementales totales y por zona encontrados en el AM, donde el elemento con mayor presencia zonal son: oro con  $81.2 \pm 13.3$  % con 0.12 g de Au/g de AM, seguido del plomo con  $62.4 \pm 20.8$  y 0.01 g de Pb/g

de AM, la plata tiene un promedio de  $46.9 \pm 14.6$  % con una abundancia de 15.8 %, un máximo de 80.6 % y un mínimo de 1.5 %, una prevalencia de 26.3 % y 0.123 g de Ag /g de AM, el hierro con  $17.1 \pm 22$  y 0.153 g de Fe/g de AM, mercurio con  $4.9 \pm 4.9$  y 0.002 g de Hg/g de AM, arsénico con  $3.9 \pm 2.4$  y 0.006 g de As/g de AM y por último cobre con  $2.4 \pm 1.01$  y 0.003g de Cu/g de AM.



**Figura 5-3. Composición porcentual total de elementos encontrados en el AM**

Adicionalmente, se observa que el material se encuentra compuesto por 18 diferentes elementos (Figura 5-3) con una distribución heterogénea (Figura 5-5) y de configuración anisotrópica con cúmulos puntuales y dispersos de algunos elementos metálicos o minerales, lo cual dificulta establecer una caracterización puntual del material.

Tabla 5-3. Distribución elemental de dispersión obtenidos para el AM

Elementos	Promedio En zona Total (%)	Promedio En zona Encontrada (%)	Max. (%)	Min. (%)	$\pm\sigma$ (%)	Zonas encontradas	Prevalencia en el AM (%)	g de elemento/g de AM
C	2	18.7	26.0	11.4	10.3	2	10.5	0.01
O	14.2	44.9	71.5	17.9	19	5	26.3	0.14
Mg	0.7	1.9	2.8	0.5	0.8	7	36.8	0.00
Al	2.6	3.4	11.3	0.1	3.3	12	63.2	0.02
Si	8.3	9.9	25.4	0.1	9	15	78.9	0.08
P	0.1	0.8	0.8	0.8	0.1	17	5.3	0.00
S	4	11	26.9	0.9	10.2	7	36.9	0.04
K	1	2	7.4	0.3	2.2	9	47.4	0.00
Ti	0.2	3.7	3.8	3.8	0	1	5.3	0.00
V	0.4	7.9	7.88	7.9	0	1	5.3	0.00
Fe	15.3	17.1	61.7	0.9	22	16	84.2	0.15
Cu	0.4	2.4	3.4	1.3	1.1	2	10.5	0.00
Zn	3.1	9.8	20	1.1	8.1	5	26.3	0.30
As	0.6	3.8	6	1.2	2.4	3	15.8	0.00
Ag	12.3	46.9	80.6	1.5	14.6	5	26.3	0.12
Au	12.8	81.3	95.8	69.9	13.3	3	15.8	0.12
Hg	0.3	4.9	4.9	4.9	0	1	5.3	0.00
Pb	19.7	62.3	84.9	36.1	20.6	6	31.6	0.19

### 5.1.3 Prueba de Asociación de Olmstead-Tukey

A través de la prueba estadística se determinó la importancia relativa de cada especie elemental, donde se encontró que el Al, S, Si, y Fe son las especies dominantes dentro de la matriz y que de hecho éstos últimos determinan en gran cantidad la apariencia física del AM (cristalino y rojizo). Adicionalmente se encuentran el Mg, P y K (cuadrante II); visiblemente como zonas blancas y amarillas, lo cual es concordante con el análisis mineralógico y con lo mencionado anteriormente en 5.1.2.2, donde en efecto el contenido metálico se encuentra inmerso en una matriz de silicatos, lo cual se puede corroborar en el cuadrante IV de contenido Zn, Pb, Ag, y Au, los cuales son de suma importancia en el lugar de extracción como es el caso de minas de explotación de plata.

Los valores y la distribución obtenida son concordantes con el lote, ya que fue tomado de un lugar alejado de la veta. Por su parte los encontrados en el cuadrante III (Cu, Pb, V, As,

Ti y Ca) se encuentran en mínima cantidad, por lo cual muchos de ellos son considerados como trazas. Lo antes mencionado puede ser observado en la Figura 5-4

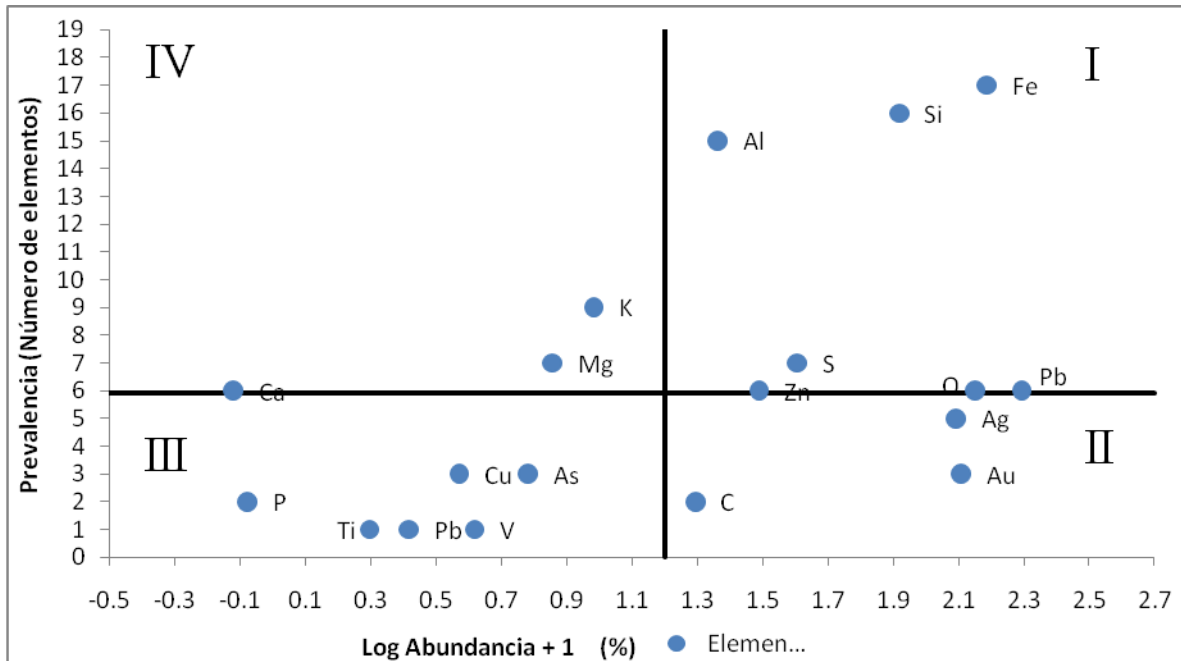


Figura 5-4. Resultado del análisis de Olmstead-Tukey para el AM

#### 5.1.4 Límites Máximos permisibles por elemento y capacidad de disolución del AM

Se puede observar que 10 de los 18 elementos que conforman al AM no se encuentran referidos dentro de las normas, los que se encuentran son: Fe, Cu, Zn, As, Ag, Au, Hg y Pb, mientras que la capacidad de disolución del material evaluada para el AM muestra que aún con las cantidades totales contenidas en el AM no se sobrepasa el promedio mensual (PM) e inclusive tampoco el promedio diario (PD).

La prueba llevada a cabo para determinar la capacidad de disolución del AM a través de PAI-EEA Miranda (2005) encontró, que solo existe disolución para el Fe con 0.12 mg/L (PM), mientras que el valor mínimo permitido en normatividad es de 0.3 mg/L en promedio diario (PD) y por último el Zn con 0.1 mg/L (en norma con 20 mg/L de PD). Para los demás elementos analizados (Cu, Ag, Au, Hg y Pb) no se encontraron. A continuación en la Tabla 5-4 se muestra a detalle los LMP para algunas normas, asimismo una comparación con el contenido elemental del AM.

De igual manera, se muestra que los elementos señalados anteriormente, así como las concentraciones en las que se encuentran no sobrepasan algunas normas aplicables, tal es el caso de la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1997, NOM-127-SSA, 1993 Y NOM-SEMARNAT-2005, donde la capacidad de disolución efectuada para el material encontró solo presencia de hierro (no especificado en ninguna norma) y zinc. En todos los casos la concentración total contenida en el AM no sobrepasa el promedio diario e inclusive ni mensual (PD y PM) contenida en ellas, lo cual implica que no se sobrepasaría ninguna de las NOM señaladas anteriormente a pesar de que se lavara el 100% del material en un día.

**Tabla 5-4. Normatividad mexicana (LMP por elemento) aplicable al contenido del AM**

	NOM-001-SEMARNAT-1996						NOM-002-SEMARNAT-1996						NOM-002-SEMARNAT-1997			NOM-127-SSA-1993		NOM-052-SEMARNAT-2005		Capacidad de disolución del AM		
	Ríos		Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras				Alcantarillado			Agua residual a Servicio al público		Agua potable para consumo Humano		LMP para los constituyentes tóxicos en extracto PECT				
	en riego agrícola		Uso público urbano		Protección vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano											Explotación pesquera, navegación y otros usos		Recreación
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	PD.	Instantaneo				mes 1	Conclusión
C	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
O	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
Mg	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
Al	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	0,2	NE	ND	ND
Si	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
P	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
S	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
K	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	D	Cumple
Ti	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
V	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	ND	Cumple
Fe	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	0,3	NE	1260	No sobrepasa
Cu	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	10	15	20	ND	2	NE	0	No sobtepasa
Zn	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	6	9	2	ND	5	NE	1002	No sobrepasa
As	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,1	0,5	0,75	1	ND	0,05	5	0	No sobrepasa
Ag	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	5	0	No sobrepasa
Au	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ND	NE	NE	0	Cumple
Hg	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0015	0.02	ND	0.001	0.2	0	No sobrepasa
Pb	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	1	5		ND	.025	5	0	No sobrepasa

En todos los casos concentración expresada en [mg/L] y las cifras significativas contenidas en norma; NE= No especificada; ND=No determinada; PM=Promedio mensual; PD=Promedio diario No sobrepasa= No supera el LMP; Cumple= No se encuentra dentro de las normas analizadas.

### 5.1.5 Modificación de pH

En la Tabla 5-5 se muestra el cambio del pH ( $\Delta$ pH) con la prueba de contacto de AM y ADDE, la cual se efectuó durante 168 h y se dio por finalizada hasta obtener una lectura correspondiente al estado inicial  $t=0$  con un pH de 7.3.

Se observa una modificación instantánea a 8.3, es decir de un ocurrida durante la hora uno hasta llegar a un máximo de 8.7 a las 59 horas de contacto. El descenso se lleva a cabo a partir de la hora 78 con un promedio de de  $0.28 \pm 0.14$  unidades de pH con un promedio de cambio de  $16 \pm 8.03$  h llegando a su estado inicial a las 153 h.

Se descarta que se trate de un material altamente ácido o básico y por ende queda descartado como un factor determinante que ocasione la pérdida de viabilidad en los huevos de *T. canis*, ya que el pH solo se modifica en 1.4 unidades log (de 7.3 a 8.7); cabe destacar que los estados de oxidación de la plata dominantes para dicho pH es  $Ag^{1+}$  (Pourbaix, 1963), aunque se encuentra también puntualmente  $Ag^0$ , mientras que  $Ag^{2+}$  se encuentra en forma de forma estable en la nimita y montmorillonita, las cuales están dispersas en toda la matriz mineral, distribuyendo así el poder desinfectante por todo el AM.

**Tabla 5-5. Determinación de pH en la prueba de contacto del AM**

Tiempo [horas]	pH
0	7.3
1-11	8.3
24-34	8.5
48-59	8.5
59-78	8.7
78-181	8.6
101-123	8.2
124-150	8
150-152	7.5
153-168	7.3

### 5.1.6 *Determinación de concentraciones elementales*

Las concentraciones promedio por elemento para emplearse en las pruebas de contacto se calcularon a partir de los resultados obtenidos en el análisis cuantitativo. En la Tabla 5-6 es importante destacar que las determinaciones cuantitativas efectuadas en el caso de la plata a través de un análisis por vía seca (en campo) se hicieron en varias ocasiones y en todas ellas se obtuvieron resultados diferentes (desde 0.005 g/kg hasta 0.12 g/kg), que difieren inclusive con los establecidos en Miranda (2005), las cuales fueron efectuadas a través de espectroscopía de absorción atómica, donde se señala puntualmente que el material contiene 159 ppm y por espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo encontrando 101 ppm, que a pesar de ser técnicas con un mayor límite de detección, no son representativas del material, debido a que las metodologías analíticas antes mencionadas emplean solo una muestra pequeña  $\leq 0.1$  g, donde el resultado se asumió como representativa de todo el AM, lo cual no es adecuado, ya que las distribuciones elementales no son proporcionales ni homogéneas, porque los valores obtenidos pueden oscilar en función de la zona muestreo.



**Tabla 5-6. Cantidad elemental promedio de AM empleada en las pruebas de contacto**

Elementos	Cantidad en [g] a emplearse en las pruebas de contacto con AM						
Ag	0.010	0.050	0.100	0.500	1.000	1,500	2.000
C	0.002	0.008	0.016	0.080	0.160	0.240	0.320
O	0.011	0.057	0.115	0.575	1.149	1.724	2.298
Mg	0.001	0.003	0.006	0.029	0.058	0.087	0.116
Al	0.002	0.009	0.019	0.093	0.187	0.280	0.374
Si	0.007	0.034	0.067	0.337	0.674	1.012	1.349
P	0.000	0.000	0.001	0.003	0.007	0.010	0.014
S	0.003	0.016	0.033	0.163	0.326	0.489	0.652
K	0.001	0.004	0.008	0.039	0.078	0.117	0.156
Ti	0.000	0.001	0.002	0.008	0.016	0.024	0.032
V	0.000	0.002	0.003	0.017	0.034	0.050	0.067
Fe	0.012	0.062	0.124	0.621	1.243	1.864	2.485
Cu	0.000	0.002	0.003	0.015	0.030	0.045	0.060
Zn	0.003	0.013	0.025	0.125	0.250	0.376	0.501
As	0.000	0.002	0.005	0.024	0.049	0.073	0.098
Au	0.010	0.052	0.104	0.520	1.039	1.559	2.079
Hg	0.000	0.001	0.002	0.011	0.021	0.032	0.042
Pb	0.016	0.080	0.160	0.079	0.159	0.239	0.319

Por ello no puede ser asignado un valor tan contundentemente. De manera adicional en el presente trabajo dicho valor es de suma relevancia para el diseño del sistema filtrante. A pesar de ello, para fines de cálculo se eliminó el valor superior y el inferior y con los restantes se obtuvo un promedio siendo entonces 129 ppm.

## 5.2 Pruebas de organismos

Se efectuaron ensayos de viabilidad (al lote validado de huevos de *T. canis*) a todas las hembras recuperadas para seleccionar el lote a emplearse. Una vez catalogado como útil para ser empleado en el procedimiento experimental fue utilizado en las pruebas de contacto con los desinfectantes (sin y con agitación); obteniendo los siguientes resultados como se detalla en los siguientes puntos.

### 5.2.1 Pruebas de viabilidad de lote

Se analizaron cinco muestras provenientes de diferentes hembras, donde la prueba de viabilidad que evaluó el porcentaje de huevos de helminto larvados resultó ser para cada lote de  $34.5 \pm 21.3$ ,  $57 \pm 11.3$ ,  $67 \pm 8.5$ ,  $71.4 \pm 15.2$  y  $87 \pm 4.5\%$ , respectivamente. Es importante señalar que solo se tomó al último lote, ya que el criterio de aceptación experimental definido previamente fue de un larvado mínimo de 80%.

Con el objeto de registrar cualquier cambio significativo que pudiera modificar los cálculos posteriores se le dio seguimiento mes con mes a éste último.

Por otra parte, la prueba nula efectuada al lote seleccionado registró en todos los casos un 0% (Tabla 5-7), con lo cual se concluye que el empleo de dicha solución para el mantenimiento durante las pruebas de incubación no ocasiona un larvado adicional de los organismos; no induciendo el larvado y eliminando con ello falsos positivos.

Por otro lado, para las pruebas efectuadas con  $H_2SO_4$  como medio de incubación obtuvo un porcentaje de viabilidad de  $87 \pm 4.5\%$  al primer mes, encontrándose hasta el mes siete un valor de  $81 \pm 1.5\%$ . Según los resultados obtenidos se observa una pérdida de viabilidad bimestral promedio de  $3 \pm 2.1\%$ .

Dicho valor solo se empleó como valor de referencia (87%), ya que no se encontró ningún elemento discriminante para discernir entre huevos viables e inviables, por lo cual todos los huevos fueron tratados por igual como viables. De manera adicional, no se cuenta con la viabilidad de la especie y los lotes obtenidos provienen del útero de una hembra adulta, por lo cual solo fue considerado dicho valor cuando fue estrictamente necesario con sus reservas.

**Tabla 5-7. Pruebas de determinación de viabilidad del lote muestra**

Viabilidad [%] $\pm \sigma$				
Meses	1	3	5	7
Con solución salina	0	0	0	0
Con $H_2 SO_4 0.01N$	$87 \pm 4.5$	$84 \pm 2.4$	$81 \pm 2.3$	$81 \pm 1.5$
Meses	1	3	5	7

De hecho, se encontró con base a las pruebas de viabilidad efectuadas a los lotes de *T. canis* (cinco) un amplio intervalo de huevos larvados que va de 34.00-87.00 % (Tabla 5-7), es decir desde  $5.1 \times 10^4$  hasta  $1.26 \times 10^6$  organismos viables por lote.

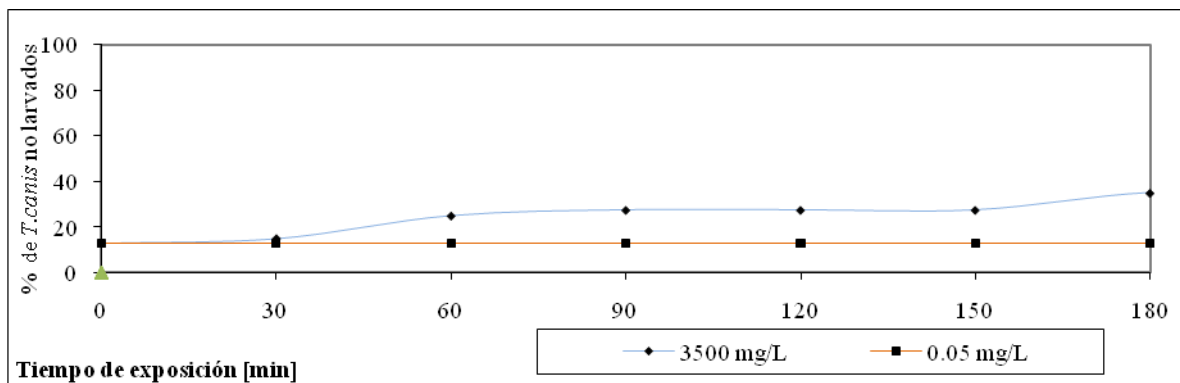
Cabe destacar que el valor obtenido para el lote (superior al 80.00%) es raro en comparación con otras especies como *Fasciola hepática* que ha registrado una viabilidad de 19.9 a 59.4% (Larroza y Olaechea, 2010). De hecho en Begon *et al.* (1990) se menciona que una alta descendencia implica una baja viabilidad, donde dicha estrategia obedece a la dificultad que presentan los huevos para completar su ciclo de vida, a la liberación a condiciones adversas en el ambiente, así como la dificultad para llegar a los hospederos (para completar su ciclo de vida) requiere de una segregación con respecto a tiempo y espacio, donde la maduración de todos los huevos no se efectúa al mismo tiempo. Adicionalmente, la liberación masiva de progenie elimina un gasto de energía en crianza, permitiendo con ello dedicarse solo a su propia supervivencia y reproducción.

#### 5.2.1.1 Capacidad de desinfección de plata coloidal

Es importante señalar que la prueba de contacto fue efectuada durante el primer mes de obtenido el lote de *T. canis*, donde no se evidenció una pérdida de viabilidad, ya que se registró el  $\approx 87\%$  de organismos larvados a la exposición con la dosis sugerida 0.05 mg/L a todos los tiempos de contacto, mientras que a una dosis de 3500 mg/L se registró un porcentaje de pérdida de viabilidad superior de un 2% con  $15 \pm 4.3\%$  a partir de 30 min. La capacidad máxima de desinfección registrada por el desinfectante fue de  $37.5\% \pm 8.6\%$  a 180 min. En ambos casos, la prueba fue extendida hasta cinco horas (datos no incluidos) para registrar cualquier cambio significativo. Los resultados obtenidos se señalan en la Figura 5-5.

A partir de lo antes mencionado, se puede concluir que la plata coloidal empleada en el ensayo no constituye una opción desinfectante a la concentración sugerida (0.05 mg/L), debido a que ésta no arrojó ningún resultado positivo, lo cual se atribuir a varias razones dentro de las cuales se encuentran, que la dosis sugerida puede ser suficiente para atacar a organismos que poseen estructuras semipermeables o con permeabilidad selectiva (con intercambio al medio) y no para estructuras de resistencia o con intercambio un nulo. Otra

explicación sugiere que el producto elegido (plata coloidal comercial) no contenga el contenido de sustancia referido o que no contenga mayoritariamente una cantidad de plata activa (cerca o superior al 95%). Lo anterior, puede ocurrir por la baja calidad del producto o por una permanencia prolongada en almacén o supermercado, que aunado a cambios de temperatura y humedad contribuyen al aumento de plata inactiva (PROFECO, 2010). De manera adicional, existen mecanismos de reparación de la membrana y genético si los eventos ocurridos en la desinfección no tienen algún grado de letalidad (Lewin, 2010).



**Figura 5-5. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición a plata coloidal**

#### 5.2.1.2 Capacidad de desinfección de la granalla de plata

Esta capacidad mostró resultados positivos en todos los casos, al obtener un mínimo de pérdida de viabilidad de  $32 \pm 8.6\%$  a  $0.01 \text{ g/L}$  y  $30 \text{ min}$  y una capacidad máxima de desinfección de  $37.5 \pm 8.7\%$  para la misma concentración, mientras que en  $0.5$ ,  $1$  y  $2 \text{ g/L}$  se registró el valor máximo de  $48.7\%$  (Figura 5-6). Para estos últimos casos, la desviación estándar promedio fue de  $\pm 7.2\%$ , donde el valor máximo se registró a los  $90 \text{ minutos}$ . De manera adicional, se dio una hora de contacto extra (tres horas) para detectar cualquier incremento en la pérdida de viabilidad de los huevos de helminto. Al no presentarse dicho fenómeno se dio por terminada la prueba.

A pesar de su baja solubilidad, no tener carga y la posible baja interacción con las proteínas de la membrana se registra una zona bien delimitada del  $32$  al  $48\%$  (superior a las pruebas de viabilidad efectuadas  $15\%$ ), lo cual sugiere un efecto desinfectante ligero sobre *T. canis* en comparación a otros agentes de prueba.

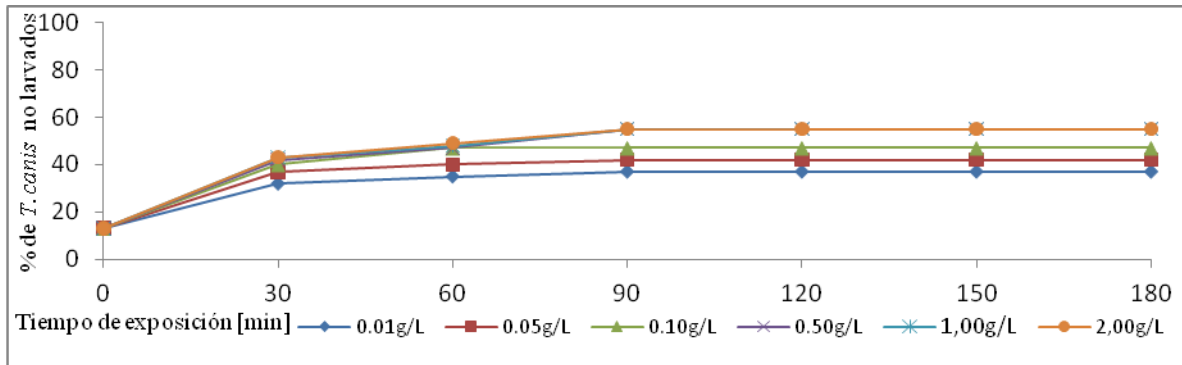


Figura 5-6. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición a granalla de plata ( $Ag^0$ )

### 5.2.1.3 Capacidad de desinfección del nitrato de plata ( $AgNO_3$ )

Esta propiedad se determinó para la prueba resultados positivos en todos los ensayos, obteniendo a 30 minutos para 0.01 g/mL la capacidad mínima de desinfección con  $40.00 \pm 0.01\%$ , mientras que a partir de un tiempo de contacto de 90 min se registraron los mayores valores de efectividad que van desde 45.33 a 65.33.88 % para las concentraciones de 0.1, 0.5, 1 y 2 g/L. El valor máximo se encontró a las condiciones de exposición de 2 g/L y 120 min como se observa en la Figura 5-7. Por su parte registró una zona de igual manera que va de un 40 a un 63 % (superior al presentado en  $Ag^0$ ).

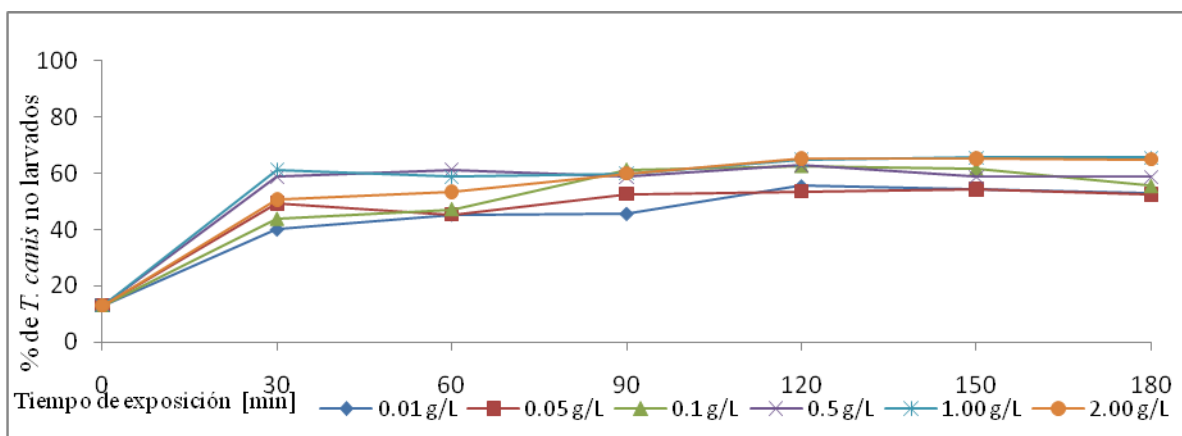
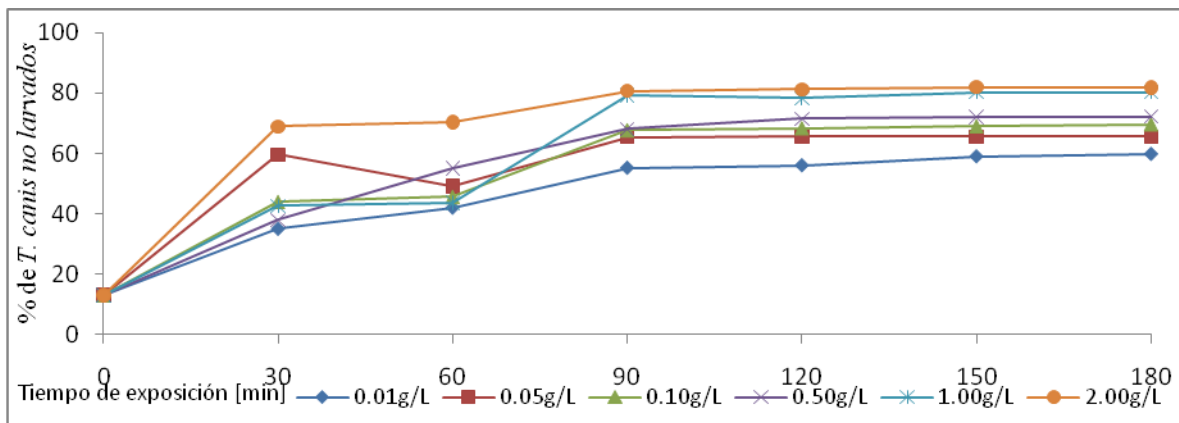


Figura 5-7. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición a  $AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ )

#### 5.2.1.4 Capacidad de desinfección del AM (2 mm)

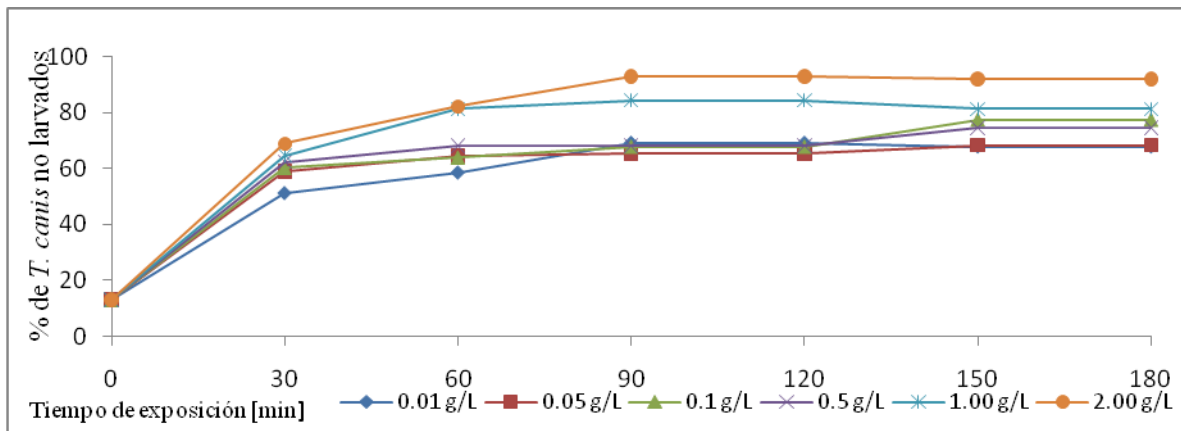
Al respecto, se registraron resultados positivos para todos valores a todas las concentraciones evaluadas, las cuales van desde un  $35 \pm 21\%$  para  $0.01 \text{ g/L}$  a 30 min, mientras que para las concentraciones evaluadas ( $0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1$  y  $2 \text{ g/L}$ ) se registraron  $59.7 \pm 0.50\%$  a 180 min,  $65.7 \pm 2.8\%$  a 120 min,  $69.6 \pm 0.7\%$  y  $72.2 \pm 0.7\%$  a 180 min y  $80.2 \pm 0.9$  y  $82 \pm 0.7\%$  a 150 min. La prueba se dio por terminada a los 180 minutos (Figura 5-8). El porcentaje de pérdida de viabilidad disminuye considerablemente a partir de 90 minutos.



**Figura 5-8. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición al AM ( $\text{Ag}^0, \text{Ag}^{1+}, \text{Ag}^{1+y}, \text{Ag}^{2+}$ )**

#### 5.2.1.5 Capacidad de desinfección del agregado mineral (0.6 mm)

El menor valor se obtuvo a la concentración de  $0.01 \text{ g/L}$  y 30 min con  $51.1 \pm 27.4\%$  y el máximo para esa concentración se obtuvo a 150 min y fue de  $69 \pm 4.8\%$ . Adicionalmente, para  $0.05, 0.1$  y  $0.5 \text{ g/L}$ , se obtuvo el menor valor a la misma concentración con  $58.9 \pm 13.7, 60.1 \pm 6.7$  y  $62.3 \pm 20\%$ , mientras que el máximo fue de  $68.2 \pm 0.9, 77.2 \pm 1.7$  y  $74.5 \pm 3.1\%$ . Por otro lado, para  $1$  y  $2 \text{ g/L}$  se encontraron los valores máximos de toda la pruebas efectuadas con  $84.3 \pm 3$  y  $93 \pm 2.2\%$  a 90 minutos de tiempo de exposición (Figura 5-9).



**Figura 5-9. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición al AM 0.6 mm ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ )**

El AM ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ,  $Ag^{2+}$ ) resultó ser el de mayor efectividad de los agentes probados, donde la granulometría de 2 mm obtuvo desde 35 a 81.7 %, para la menor y mayor concentración, en los tiempos evaluados. Mientras que para 0.6 mm, fue desde 51.1 a 92 % (Figura 5-9) bajo las mismas condiciones de tiempo de exposición y concentración. Se puede observar una diferencia en la pérdida de viabilidad que responde principalmente a la granulometría, ya que se genera una mayor área de exposición a medida que se tiene un menor diámetro, con lo cual se favorecen los sitios activos responsables del efecto inactivante, que al parecer obedece a un mecanismo combinado de tipo químico y mecánico, lo cual se sustenta con base a las evidencias fotográficas obtenidas (ANEXO V).

Asimismo, Rodríguez (2009) señala que los huevos de *T. canis* se muestran sensibles al cobre, hierro y zinc, los cuales también se encuentran dentro de la matriz mineral (Figura 5-3), por lo cual no se puede atribuir la totalidad de la pérdida de viabilidad a la plata.

### 5.2.2 Inactivación causada por el AM en pruebas sin y con agitación

El efecto obtenido en las pruebas con y sin agitación empleando a) AM 2 y b) 0.6 mm para 30, 60, 90 y 120 y las mismas concentraciones señaladas en el punto 5.2.1. y en la Tabla 5-8.

a) En la figura A se observa que para 30 min SA se obtiene a la menor concentración aplicada un  $35 \pm 5.8\%$ , mientras que para la mayor resultó ser de  $70 \pm 12.5\%$ . En el caso de

Las tres primeras concentraciones reportan que la prueba sin agitación es más efectiva en un 15.3, 14.1 y 12.2, mientras que la eficiencia, para 1.00 y 2.00 g/L, es superior en la prueba con agitación en un 14.8 y 6.4%.

En 60 min (figura C) se observa que SA un efecto que va desde  $26.6 \pm 5.77$  hasta  $72.5 \pm 9.6$  (1 g/L), mientras que con agitación se obtiene para las primeras tres concentraciones un  $42 \pm 8.3$ ,  $49.1 \pm 26.9$  y  $45.6 \pm 38.3\%$ , donde en ellas resultó con mayor efectividad la prueba SA en un 15.3, 14.1 y 12.3%, mientras que para 1 y 2 g/L es superior CA en un 16.4 y en un 2.1% obteniendo un  $72.5 \pm 9.6$  y un  $70 \pm 12.5\%$  de pérdida de viabilidad.

En el caso de una 90 min (figura E) se observa que SA se obtiene para 0.01 g/L una pérdida de viabilidad de  $55.2 \pm 10.1\%$ , para 0.05 g/L un  $65.4 \pm 5.9\%$ , para 0.1 g/L un  $67.7 \pm 2.5\%$  y para 0.5 g/L  $68.1 \pm 3.7\%$ , respectivamente, mientras que con agitación se obtiene en las mismas concentraciones un  $35 \pm 5.8$ ,  $37.5 \pm 6.6$ ,  $67.5 \pm 5$  y  $67.5 \pm 5\%$ . Las cuatro primeras concentraciones reportadas para pruebas SA se observan con mayor efectividad en un 20.2, 27.8, 5.6 y 5.3% y las efectuadas con 1 y 2 g/L fueron superiores CA en un 7.9 y 2.6%.

Para 120 min (figura G), se obtuvo en todos los casos el mejor porcentaje de inactivación en las pruebas con agitación con un 5.5, 0.01, 2.9, 6.2, 7.5 y 9.6%, obteniendo, para 0.01 g/L un  $61.5 \pm 2.7\%$ , para 0.05 g/L un  $65.7 \pm 2.9\%$ , 0.1 g/L un  $71.2 \pm 0.5\%$ , 0.5 g/L  $78.2 \pm 1.5$ , 1.0 g/L  $86 \pm 2.4\%$  y para 2.0 g/L un  $90.8 \pm 0.3\%$ , mientras que sin agitación se obtiene en las mismas concentraciones un  $56 \pm 5.5$ ,  $65.7 \pm 1$ ,  $68.3 \pm 2.9$ ,  $71.2 \pm 6.7$ ,  $78.5 \pm 1.5$  y  $81.2 \pm 6.1\%$ .

b) De igual manera a continuación se señalan los resultados obtenidos para las pruebas de contacto (con y sin agitación) para AM 0.6 mm expuestos a las mismas concentraciones y tiempos de contacto señalados en el punto anterior.

En la figura B que corresponde a un tiempo de exposición de 30 min. se observó que el porcentaje de pérdida de viabilidad CA va desde  $26.6 \pm 5.8$  hasta  $72.5 \pm 9.6\%$ , mientras que SA se registró  $35 \pm 27.4$  hasta  $68.9 \pm 10.2$ , respectivamente. Es importante señalar que la prueba CA en un 1.7, 0.4, 19.4, 17.4 y 3.6%



Por su parte en la figura D (60 min), se observó en todos los casos el mejor porcentaje de inactivación CA en un en un 1.3, 13.6, 4.3, 10.3, 38 y 10%. Para 0.01 g/L se obtiene un  $43.3 \pm 15.3\%$ , para 0.05 g/L un  $62.5 \pm 2.9\%$ , para 0.10 g/L un  $50 \pm 8.2\%$ , 0.5 g/L  $65 \pm 5.8\%$ , 1.00 g/L  $75 \pm 5.8\%$  y para 2.00 g/L un  $80.2 \pm 0.5\%$ , mientras que sin agitación se logra en las mismas concentraciones un  $42 \pm 10.9$ ,  $49.1 \pm 11.4$ ,  $45.6 \pm 10$ ,  $5 \pm 9$ ,  $43.6 \pm 7.8$  y  $70.4 \pm 3.6\%$ .

De igual manera, para 90 min (figura F) CA se obtuvieron en todos los casos el mejor porcentaje de inactivación, donde los resultados fueron  $61.5 \pm 0.1$ ,  $65.7 \pm 7.8$ ,  $71.2 \pm 5$ ,  $78.2 \pm 2$ ,  $86 \pm 0.01$  y  $90.9 \pm 1.2\%$ , mientras que sin agitación se obtiene en las mismas concentraciones un  $55.2 \pm 9.7$ ,  $65.4 \pm 5.4$ ,  $67.7 \pm 2.5$ ,  $68.1 \pm 3.7$ ,  $77.1 \pm 3.7$  y  $80.7 \pm 2.2\%$ , es decir un 6.3, 0.3, 3.6, 10.2, 8.9 y 10.2% de diferencia entre los procedimientos efectuados.

En el caso de 120 min (figura H) CA, se registraron en todos los casos el mejor porcentaje de inactivación, obteniendo para las concentraciones empleadas durante el ensayo un  $61.5 \pm 2.6$ ,  $65.7 \pm 2.9$ ,  $71.2 \pm 0.5$ ,  $78.2 \pm 1.5$ ,  $86 \pm 2.4$  y  $92.8 \pm 10.2\%$ , mientras que SA se obtiene en las mismas concentraciones un  $58 \pm 3.5$ ,  $63 \pm 0.01$ ,  $69.3 \pm 1.9$ ,  $71.5 \pm 1$ ,  $78.2 \pm 1.2$  y  $83.2 \pm 9.6\%$ . En esta ocasión la diferencia fue de un 3.50, 2.7, 1.9, 6.7, 7.7, y 9.6%.

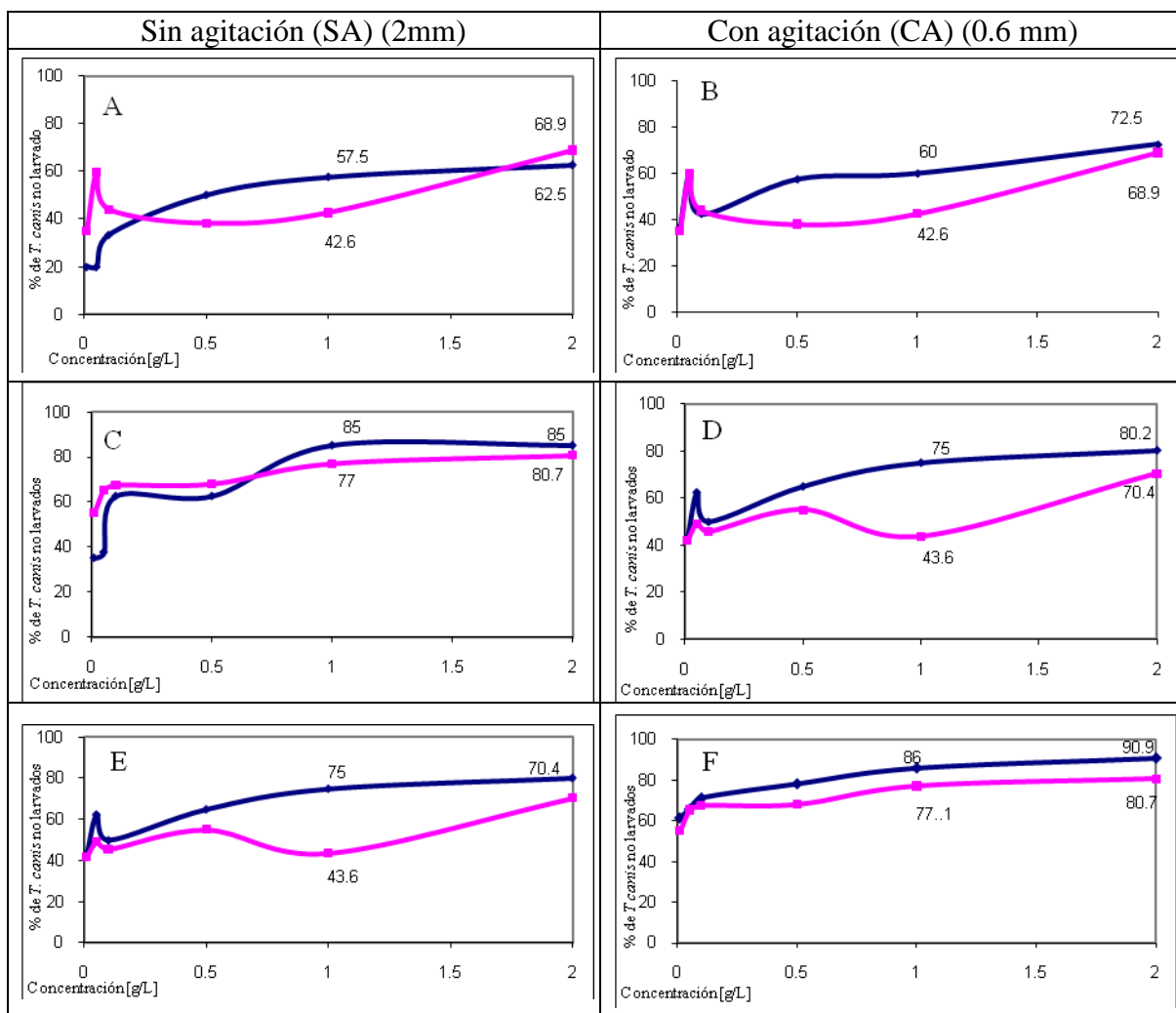
En la Tabla 5-8 que el daño mecánico producido por la presencia del material es casi nulo a concentraciones bajas (0.01, 0.05 y 0.1 g/L) en los primeros tiempos de exposición evaluados (30 y 60 min), lo cual puede ser observado de manera gráfica en A, B y C, donde los valores SA son inclusive superiores que los obtenidos CA, mientras que en D, E, F, G y H se observa que el efecto mecánico es mayor al ofrecido por el químico.

Por otro lado, el máximo poder desinfectante logrado por el procedimiento experimental para AM 2 mm es de 90.9% a 120 minutos (figura G), mientras que en el caso de AM 0.6 mm (figuras F y H) se logra para 90 y 120 minutos obteniendo 90.9 y 92.8%, respectivamente; es decir 30 minutos menos.

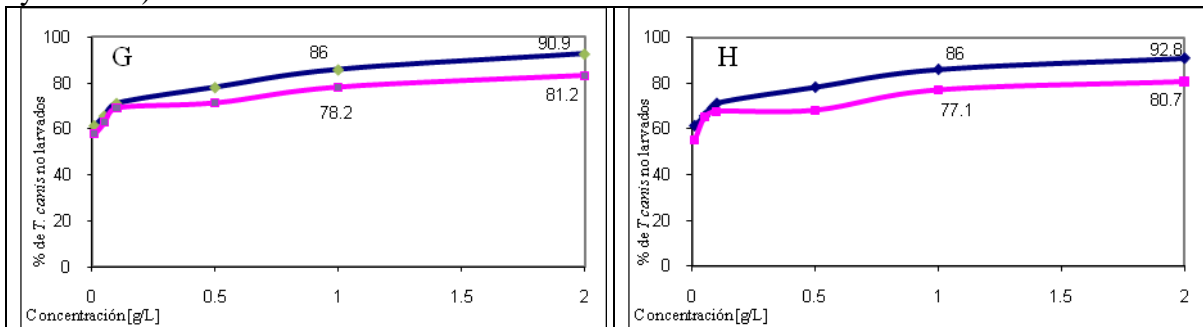
Así entonces, se puede concluir que la pérdida de viabilidad en las pruebas SA para ambas granulometrías se debe principalmente a factores químicos y que responden principalmente la concentración, así como para el tiempo de exposición, mientras que en el caso de los ensayos CA se ven favorecidos por efectos mecánicos, donde una de las causas de la pérdida de viabilidad de debe a daños mecánicos sobre la estructura del huevo, ya que éstos favorecen la penetración de los agentes desinfectantes; obteniendo un efecto superior de

hasta un 40%, lo cual se debe a que el efecto mecánico adquiere una mayor importancia a medida que aumenta la concentración; aún con bajos tiempos de exposición, obteniendo así los mismos valores de pérdida de viabilidad en un menor tiempo de contacto. En consecuencia, una combinación de tiempo de contacto, concentración y una granulometría adecuada resulta en un mayor poder desinfectante.

**Tabla 5-8. Pérdida de viabilidad producida en ensayos con y sin agitación (AM 2 y 0.6 mm)**



Continúa Tabla 5-8. Pérdida de viabilidad producida en ensayos con y sin agitación (AM 2 y 0.6 mm)



Tiempo de exposición= A y B 30 min; C y D 60 min; E y F 90 min; G y H 120 min  
 — Con agitación; — Sin agitación

En la Tabla 5-9, se muestran las ecuaciones obtenidas a partir de un ajuste de regresión para todos los tiempos de contacto y granulometrías empleadas, donde en todos los casos se encontró que el mejor valor de coeficiente de correlación es obtenido con uno de tipo logarítmico. Asimismo es correspondiente con el criterio de diseño para el filtro empleado de 120 min para 2 mm y de 90 min en el caso de 0.6 mm, donde para ellos se observan los valores más altos de  $R^2$  (superiores a 0.95).

Es importante señalar que aunque dicho ajuste obtuvo el mayor coeficiente de correlación, también se obtuvieron valores similares para los de tipo logarítmico, lo cual es concordante (en ambos casos) con el tipo de modelos cinéticos empleados en desinfección (Tabla 3-5).

Como ya fue mencionado a partir de 90 min (0.6 mm) y para 120 min (2 mm).

De hecho, de manera gráfica los comportamientos de estabilización con y sin agitación coinciden, ubicados a partir de los puntos antes señalados. Cabe destacar que, a partir de dichos puntos se registraron los valores de  $R^2$  más grandes de la prueba ( $\approx 0.96$ ). Aceptando con ello que dicho comportamiento logarítmico puede describir al fenómeno de pérdida de viabilidad experimentado por contacto del AM para ambas granulometrías, aunque no se descarta que en otros tipos de operación se pudiera favorecer otro tipo de comportamiento desinfectante.

**Tabla 5-9. Ecuaciones de ajuste para pruebas de contacto obtenidas con y sin agitación**

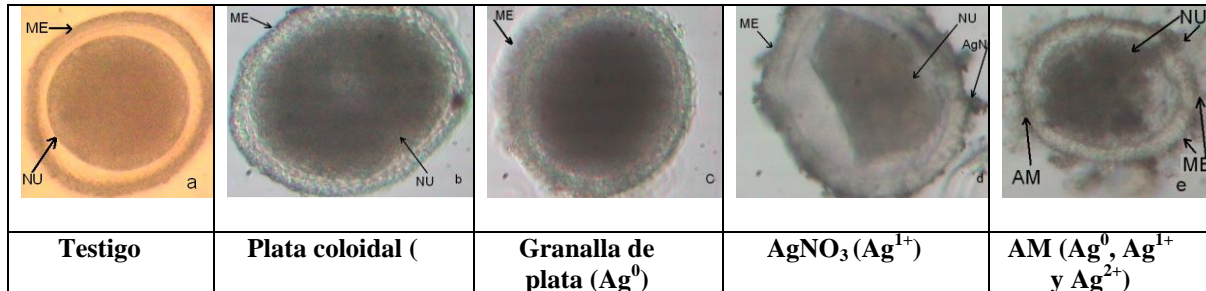
Tiempo de contacto	CA		SA		CA		SA	
	AM 2 mm				0.6 mm			
	Ecuación de tendencia (y=)	R <sup>2</sup>	Ecuación de tendencia (y=)	R <sup>2</sup>	Ecuación de tendencia (y=)	R <sup>2</sup>	Ecuación de tendencia (y=)	R <sup>2</sup>
30	9.0324 ln (x)+55.46	0.9342	2.7824 ln (x)+52.608	0.1758	5.3364 ln (x)+63.669	0.6694	2.782 ln (x)+52.608	0.1758
60	8.658 ln (x)+61.37	0.9327	3.4753 ln (x)+56.69	0.4324	6.4378 ln (x)+73.308	0.8324	3.4753 ln (x)+73.308	0.4324
90	10.185 ln (x)+78.068	0.9103	4.3003 ln (x)+76.122	0.9103	5.6348 ln (x)+84.905	0.9621	4.3004 ln (x)+76.1222	0.9103
120	5.634 ln (x)+84.906	0.9621	4.3003 ln (x)+78.065	0.9652	5.568 ln (x)+85.623	0.9661	4.547 ln (x)+78.065	0.9503

### 5.2.3 Respuesta de los organismos a la exposición a los diferentes agentes con contenido de plata empleados

En la Figura 5-10 se observan las diferencias morfológicas experimentadas en el huevo al ser sometido a los compuestos con plata, donde es importante señalar que el testigo que no tuvo contacto con ningún agente desinfectante se muestra con un núcleo y con las estructuras de la cubierta bien definidas, delimitadas y homogéneas, mientras que para el caso de la granalla de plata se observa en el huevo diferencias en cuanto al núcleo y la membrana (menor definición y homogeneidad), sin embargo aún posee una forma esférica y sin deformaciones. Por otra parte, el expuesto a AgNO<sub>3</sub> presenta una disminución del grosor, así como de la definición en la cubierta exterior de la misma, pero de igual manera, a pesar de que el núcleo se encuentra aún definido, no es homogéneo. Cabe destacar que existen restos de nitrato de plata adheridos en el exterior y que el huevo presenta elongación.

Por último, en el caso del AM (2 mm) se presenta un adelgazamiento de la cubierta externa, así como deformaciones en la interna e inclusive en algunas zonas ya no es observable; permitiendo con ello la salida del material nuclear (encontrándose disperso y heterogéneo). Es importante señalar, que con AM (0.6 mm) se presenta una fenología similar que en el caso anterior, solo que con mayor severidad. En el ANEXO V se observa la memoria

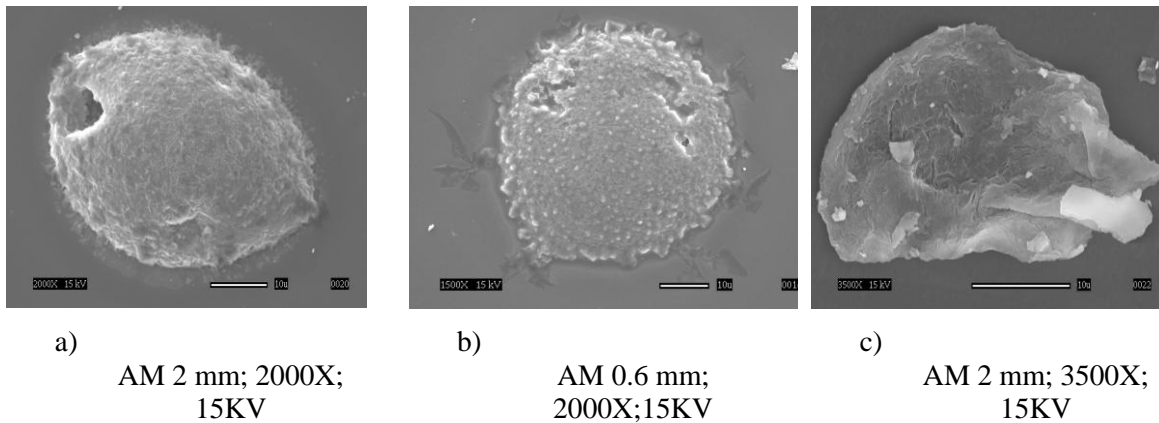
fotográfica (progresiva) donde se aprecia el cambio físico experimentado por el huevo de *T. canis* expuesto a los diferentes agentes con contenido de plata  $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ .



a) Huevo saludable muestra que no hay estructuras dañadas; b)  $5 \times 10^{-5}$  g/L y 120 min, no existen alteraciones observables; c) Disminución del grosor en la membrana; d) Se observa daño en membrana, núcleo y la deposición de  $AgNO_3$ ; y e) huevo con daño en membrana, material nuclear disperso. ME = Membrana, NU = Núcleo,  $AgNO_3$  = nitrato de plata, AM = Agregado mineral

**Figura 5-10. Huevo de *T. canis* expuesto a los diferentes compuestos de plata evaluados a 2 g/L y 120 min observada a MO (40x)**

Asimismo, en la Figura 5-11 se observa el efecto causado por el AM en los organismos a nivel estructural (capa externa), donde en “a” hay en parte superior izquierda una perforación provocada probablemente por los cristales contenidos en el AM (daño mecánico), así como otras de menor magnitud en la parte inferior del mismo. De igual manera existen laceraciones sobre toda la capa (observables como pequeñas estructuras filamentosas que se desprenden del huevo), en “b” se aprecia un efecto más severo, donde de igual manera existen laceraciones en la parte inferior e inclusive se presenta una ruptura similar a la observada en el inciso anterior, la cual se atribuye a las mismas razones. Adicionalmente, la sustancia que lo rodea de tipo mucilaginoso se atribuye al contenido del huevo y por último en “c” se muestra la evidencia fotográfica de lo señalado anteriormente (un cristal que atraviesa al huevo) por el lado derecho, así como restos del AM adheridos al organismo (estructuras blancas) ocasionando la pérdida de esfericidad en el huevo y del material de protección necesario para su sobrevivencia.



**Figura 5-11. MEB de huevos de *T. canis* expuestos al AM con agitación ligera a 120 min**

En todos los ensayos con los diferentes compuestos de plata antes mencionados se presentan respuestas morfológicas particulares, las cuales son ocasionadas por el tipo de ataque, estado de agregación y el estado de oxidación presentado por la Figura 5-10 y Figura 5-11

Para el caso de plata metálica ( $Ag^0$ ), se observa una coloración y disminución de nitidez alrededor de la cubierta externa del huevo, la cual es atribuida al metal (perlas sólidas) con baja solubilidad que posiblemente se adhiera a ella. No existen muestras de daño mecánico, ni un efecto morfológico visible al interior del huevo (núcleo homogéneo), donde la explicación sugerida se encuentra en el punto 3.2.3 al 3.2.6. En éste caso el agente se encuentra en fase líquida y ello favorece una mayor incidencia, interacción y daño morfológico sobre el organismo en comparación con ( $Ag^+$ ) y que es observable como un efecto en la disminución en el grosor en la capa externa, así como una gran cantidad de partículas adheridas, presencia de filamentos al exterior (raspaduras) ocasionados por daño mecánico, disminución de la densidad nuclear y dispersión de la misma, elongación del organismo ocasionado probablemente por la alteración de la homeostasis y permeabilidad del huevo.

A pesar de que el mecanismo que explica el fenómeno no se conoce con exactitud, datos existentes en plata como en Magaña, *et al.* (2010) y Orta *et al.* (2008) sugieren, que los iones del metal se adhieren a las enzimas del huevo estableciendo puentes con grupos

activos, resultando en la precipitación e inactivación de las proteínas que reaccionan con los grupos “tiol” para formar enlaces S-Ag altamente estables, que a su vez también lo hacen con los grupos amino- carboxil- o fosfato-, provocando una modificación en la homeostasis y permeabilidad del organismo y con ello impactando en el desarrollo de de las funciones básicas del mismo. Asimismo, Orta *et al.* (2008) puntualiza, que actúa en los sitios activos, donde ellas no pueden operar a menos que los grupos –SH permanezcan libres, donde al oxidarse se provoca un daño irreversible a nivel protéico, ya que se inhibe su posterior transcripción y con ello la incapacidad de desarrollo por parte del organismo.

De hecho, algunas proteínas con azufre (con aminoácidos proteínogénicos) como la cisteína y metionina resultan esenciales, tal es el ejemplo del adenosil metionina que sirve como donante de metiles en reacciones de transferencia, así como intermediario en la biosíntesis de la cisteína, fosfatidilcolina y algunos otros fosfolípidos (Nelson y Cox, 2005), la cual posteriormente es convertida en S-adenosilmetionina (SAM) por la metionina adenosiltransferasa. Los antes mencionados son importantes en el mantenimiento de las condiciones de aislamiento en las cubiertas de protección de los organismos con el medio. Cabe destacar que, la metionina es el único aminoácido que tiene por un único codón (AUG), que es también la señal de inicio del mensaje para que el ribosoma comience la traducción de una proteína desde el RNAm (Jenkins, 1997).

En el caso de AM con contenido de  $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ,  $Ag^{2+}$  que se encuentra en fase sólida ocasionó sobre el huevo de *T. canis* el mayor impacto en comparación con todos los agentes empleados en el trabajo (plata coloidal, plata metálica y nitrato de plata), así como para los diferentes estados de oxidación ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ,  $Ag^{2+}$ ).

Con base a los resultados obtenidos se observó que los huevos de *T. canis* son sensibles a los agentes expuestos (plata metálica,  $AgNO_3$ , AM) con diferentes estados de oxidación de la plata ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) en mayor o menor magnitud, donde el tiempo de exposición, la concentración y el estado de agregación son factores determinantes en la pérdida de viabilidad, lo cual se deduce a partir del incremento de la curva de inactivación con respecto al tiempo de exposición, así como de la evidencia fotográfica obtenida.

### 5.3 Pruebas de filtros

El filtro resultante propuesto de acuerdo a diseño (ANEXO III) se conformó por una longitud de 180 cm y se encuentra constituido por dos lechos de diferentes granulometrías: el primero en la parte superior tiene una profundidad de 150 cm y emplea una granulometría de 2 mm, mientras que en la parte inferior tiene una de 0.6 mm y una profundidad de 30 cm, aunque de hecho con base a las pruebas filtrantes (pequeña escala y extrapolación) se prevé que el lecho efectivo es de 90-110 cm y en pruebas reales de 100 cm (para la máxima pérdida de viabilidad 100%) y de 110 cm para filtración (100%). De manera adicional, se incluyó una capa adicional de protección de 40 cm por consideración de probabilidad de contacto con plata, soporte a cambio de operación y factor de seguridad, quedando así un total de 150 cm con un tiempo de residencia hidráulica de 103.3 min. Análogamente, el segundo lecho (parte inferior) obedece a la función de pulimento de proceso y al criterio de diseño señalado en ACE (2010) y Auvinet (1982), donde se menciona que debe corresponder a 1/3 parte de la profundidad de diseño de la capa superior. Por último tiene un TRH de 17.1 minutos.

En consecuencia, el filtro diseñado tiene una profundidad de 180 cm, con un TRH de  $\approx 120.4$  min y maneja un gasto (Q) de 0.04 L/h, una capacidad de tratamiento de 1.2 L/d, tiene un peso de 0.5 kg, una cantidad de materia retenida de 0.0011 g/d, un tiempo de saturación de 159 años (para el caso de agua con solo huevos de helminto), mientras que con agua con 7 mg/L de sólidos suspendidos (tomando en cuenta datos obtenidos de la PTAR de “Tlacos” y la de “CU”) se espera un tiempo de saturación de 39 años con 1 kg de materia total retenida y un tiempo de agotamiento estimado en función de la plata de 86 años. Los cálculos que lo sustentan se encuentran contenidos en el ANEXO III.

Por otro lado el filtro empleado como testigo tuvo una profundidad de 150 cm y se empacó con perlas plásticas (PP) de 2 mm, empleó el mismo gasto de diseño, con un TRH de 108 min, un peso de 0.21 kg.

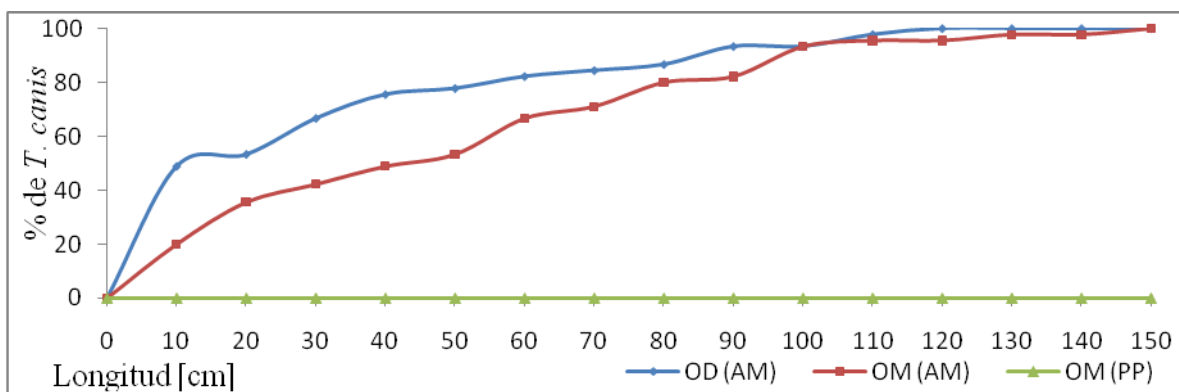


### 5.3.1 Porcentaje de filtración de *T. canis*

Los valores de remoción obtenidos en filtros empacados con AM de 2 mm en una longitud de 10-150 cm ( $\Delta L = 10$  cm), los cuales fueron operados en OD y OM durante 10 días obtuvieron para el primer caso: remoción de 75.5% de organismos de 0-50 cm, mientras que de 50-100 cm un 11.1% adicional y para el último segmento (110-150 cm) el restante 9.1%, consiguiendo así el 100%.

En el caso de OM, bajo las mismas condiciones de tiempo con la misma  $\Delta L$ , se obtuvo que la operación remueve en los primeros 50 cm el 53.3%, mientras que en los siguientes 50 cm se remueve un 40% adicional, llegando así a un 93.3% y durante el último segmento (100-150 cm) se llega al 100% de remoción. Es importante señalar que ello se alcanza a la profundidad de 140 cm.

Por otro lado, los filtros empacados con PP en OD operados bajo las condiciones antes señaladas no mostraron ningún efecto filtrante (0%), al recuperar el 100% del material introducido en todos los casos. Todos los casos anteriormente mencionados se muestran en la Figura 5-12, donde se representan el número de organismos recuperados en el efluente.



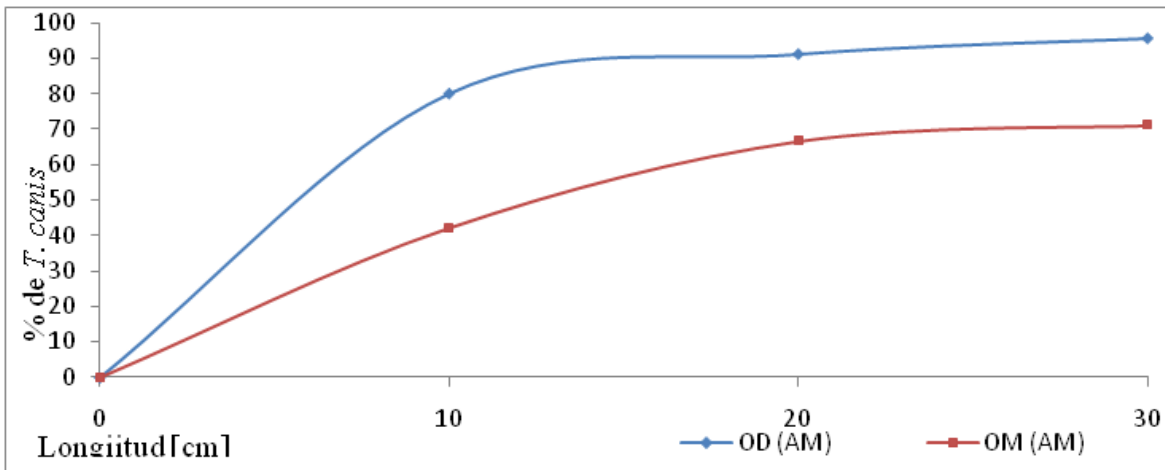
**Figura 5-12. filtración obtenida en los sistemas empacados con AM 2 mm y PP en OD y OM para huevos de *T. canis***

Adicionalmente es importante señalar que existe una diferencia entre ambos tipos de operación, ya que en OD se obtiene una mayor remoción en los primeros 20 cm (16.3 %) y para el primer tercio de diseño un  $66.7 \pm 4.7$ , lo cual es concordante con lo señalado en Auvinet (1982) y Metcalf y Eddy (1996), donde se menciona que en un filtro operado en

condiciones de diseño remueve el 50% de los sólidos contenidos en el caudal durante los primeros 20 cm del lecho. Dicho resultado (superior a 50%) implica cierta flexibilidad en el criterio de diámetro efectivo empleado  $\geq 90\%$ , con ello abatiendo costos en el acondicionamiento del material en gastos relativos a triturado y cernido.

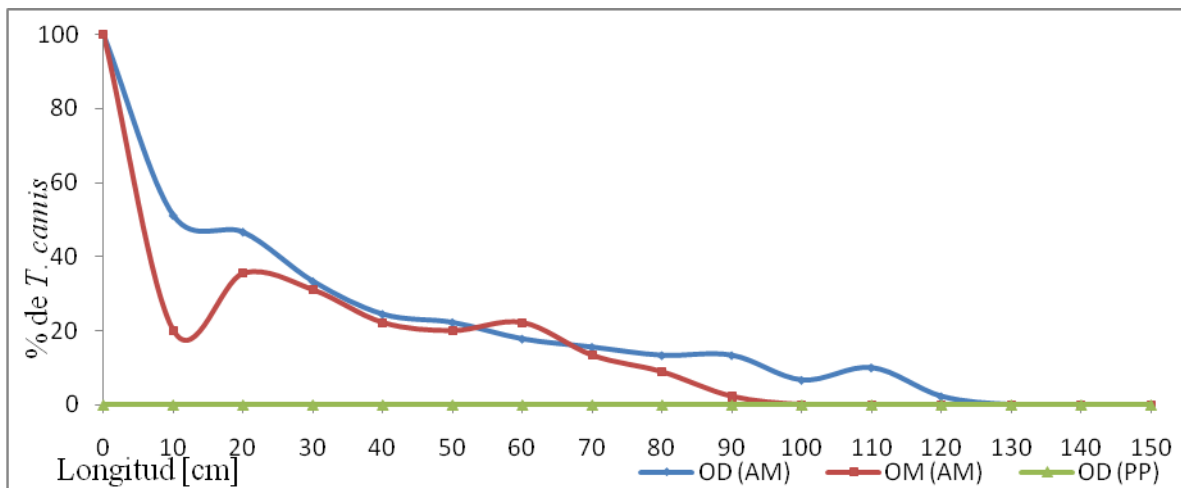
En OM se recuperó el  $35.5 \pm 23.2$  y  $48.1 \pm 4.7\%$ , destacando que hasta los 42 cm se logró el 50% (Figura 5-12), donde se muestra una disminución gradual en comparación con el ocurrido en OD. Es importante señalar que las sugerencias de operatividad y mantenimiento se modificarán en caso de operar bajo condiciones de OM. En dicho caso, existen varias soluciones, donde una de ellas consiste en realizar un nuevo arreglo granulométrico o aumentar la profundidad del lecho. En éste caso se decidió por la segunda, al incorporar una sección de protección (40 cm) ya que se busco una alta flexibilidad al poder operar a un una condición mínima o máxima en función de las necesidades de tratamiento estimadas por el usuario. De hecho, la remoción total en OM se obtiene a los 140 cm de profundidad (sección adicional), mientras que en OD se presenta a una profundidad de 110 cm (profundidad de diseño) con  $97.8 \pm 4.7\%$  como se tenía planteado. Así entonces para la segunda cumple la función de protección del sistema (ANEXO III) y de manera adicional para prolongar el tiempo de vida; manteniendo la misma efectividad, ya que los poros de dicha sección prácticamente intactos, mientras que en OM ésta parte se vuelve funcional, quedando solo protegido solo por la sección correspondiente a 140-150 cm.

En cuanto al filtro empacado con AM 0.6 mm (10-30 cm) en OD se registraron los siguientes porcentajes de filtración, donde se logra remover hasta un 95.5%, mientras que para OM se encontró hasta 71.11% y que se muestran en la Figura 5-13, lo cual es congruente con el diseño, ya que dicha sección (150-180 cm) con menor granulometría (0.6 mm) funciona en ambos casos como pulimento.



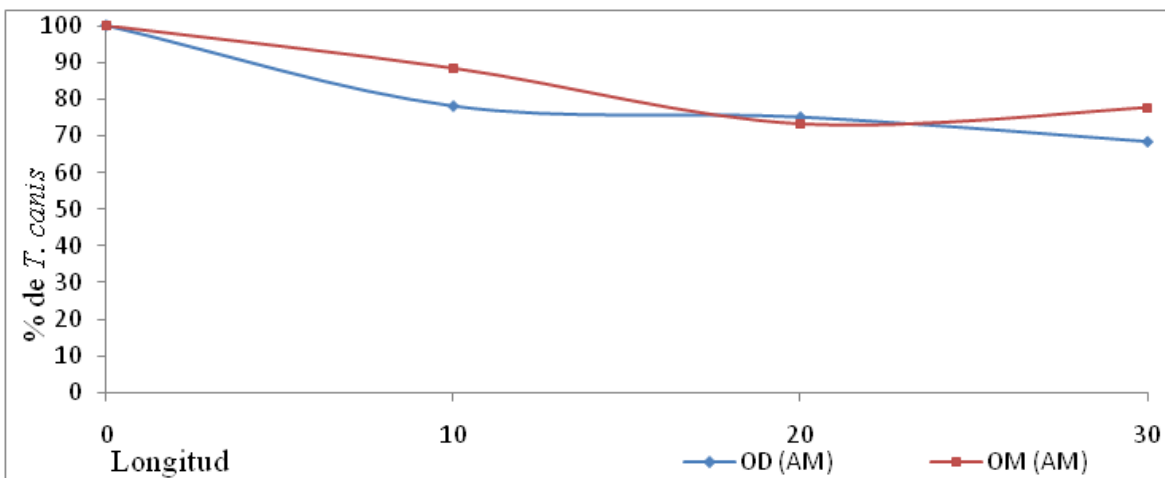
**Figura 5-13. Filtración obtenida en los sistemas empacados con AM 0.6 mm para los huevos de *T. canis***

Por otro lado, el porcentaje de la diferencia entre los organismos introducidos y recuperados del medio de empaque (AM 2 mm) en OD para cada segmento ( $\Delta L$ ) correspondiente a 10-120 cm fue de 2.2, 4.4, 2.2, 0, 2.2, 4.4, 6.7, 11.1, 4.4, 10 y 2.2% y para 130-150 cm no se recuperaron organismos (0.00 %). En el caso de OM fue de 6.7, 19.7, 11.6, 5.4, 10.5, 0, 25, 34.6, 69.7% y a partir de 100-150 cm se registró 0.00 %. En el caso de PP se registró un 0.00 % en todos los casos. Lo antes señalado se muestra en la Figura 5-14. Es importante señalar que en OD, se registró material helmintológico roto a partir de 70 cm, mientras que para OM se recuperaron organismos en las mismas condiciones a partir de 100 cm, aunque con menor frecuencia. Se observa en la Figura 14-5 y Figura 14-6, que el máximo de avance en el filtro para ambos casos se encuentra entre 80-90 h de tiempo de operación.



**Figura 5-14. Huevos de *T. canis* recuperados del medio filtrante (AM 2 mm)**

En el caso del medio filtrante empacado con AM de granulometría de 0.6 mm en OD fue de 2, 16.1 y 27.2%, mientras que para OM fue de 30.1, 40.1 y 48.9 %, respectivamente (Figura 5-15). Se observa que existe una diferencia de organismos recuperados de 28.1, 24, 21.7 %. Es importante destacar que el daño estructural sufrido (aparentemente) es similar a un filtro de entre 50-60 cm de profundidad de lecho.



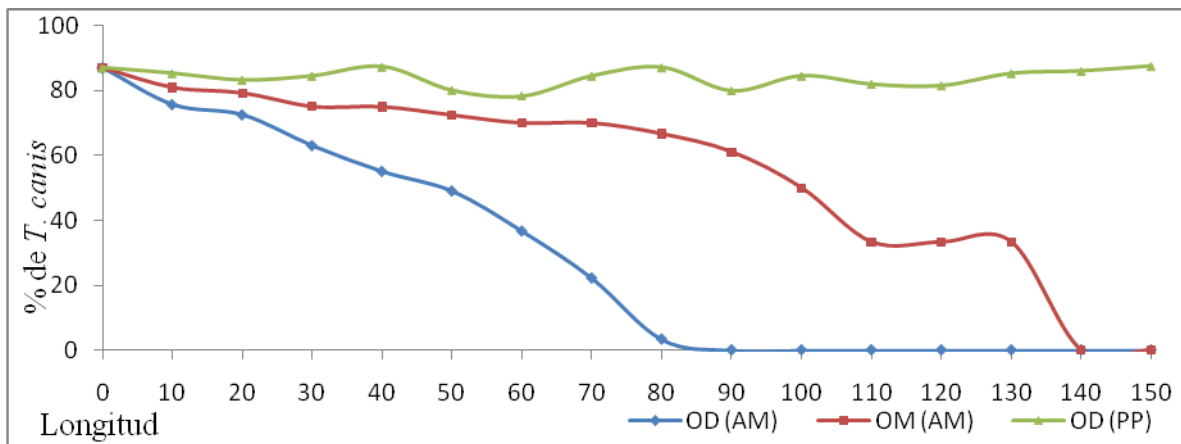
**Figura 5-15. Huevos de *T. canis* recuperados del medio filtrante (AM 0.6 mm)**

Para el caso del filtro compuesto (180 cm) no se recuperó ningún huevo de *T. canis* durante el tiempo comprendido por el experimento (10 días), por lo cual se extendió a 25 días. Al no recuperar ningún organismo se dio por finalizada la prueba. Cabe destacar que sólo se recuperaron restos de los ejemplares de huevos del helminto, Por ello, con base a la composición de los resultados obtenidos (en filtración) se estableció el tiempo de residencia teórico para los huevos de helminto en 16.04 d (385 h).

### 5.3.2 Porcentajes de viabilidad de *T. canis* en filtros empacados

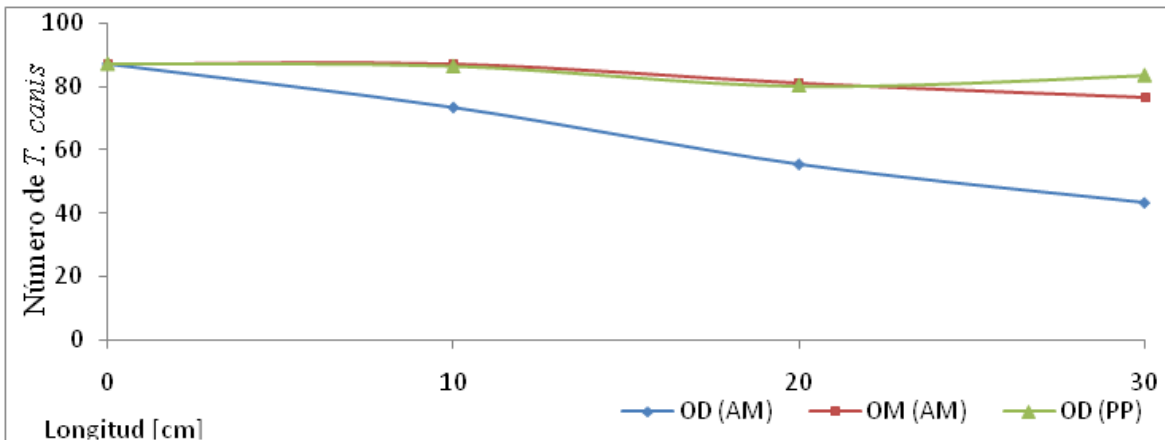
Las pruebas de pérdida de viabilidad efectuadas en los sistemas filtrantes de 150 cm empacados con AM 2 mm en OD mostraron para una  $\Delta L$  de 10 cm (10-150) los siguientes resultados  $75.7 \pm 3.5$ ,  $72.5 \pm 2.6$ ,  $63.1 \pm 5$ ,  $49 \pm 3.6$ ,  $36.6 \pm 4.7$ ,  $22.1 \pm 11.8$  y  $3.3 \pm 5.8\%$ , mientras

que para los que tienen una longitud entre 90 y 150 cm se obtuvo un 100%. De igual manera, para la OM se encontró un  $80.9 \pm 1.3$ ,  $79.2 \pm 1.6$ ,  $75.1 \pm 11.9$ ,  $75 \pm 11.9$ ,  $72.4 \pm 14.7$ ,  $70 \pm 35.3$ ,  $70 \pm 10.6$ ,  $66.7 \pm 0.01$ ,  $61.1 \pm 0.01$ ,  $50 \pm 35.3$ ,  $33.3 \pm 0.01$ ,  $33.3 \pm 0.01$ ,  $33.31 \pm 0.01\%$  y para los dos últimos (140 y 150 cm) se registró un 0%. Para los filtros empacados con PP 2 mm a las mismas longitudes se obtuvieron  $85.3 \pm 3.5$ ,  $83.3 \pm 4.4$ ,  $84.5 \pm 5.2$ ,  $87.3 \pm 3.1$ ,  $80 \pm 8.5$ ,  $78.4 \pm 7.4$ ,  $84.5 \pm 5.2$ ,  $87.1 \pm 3.4$ ,  $80 \pm 3.2$ ,  $84.5 \pm 7.4$ ,  $82 \pm 2.1$ ,  $81.5 \pm 5.2$ ,  $85.3 \pm 3.7$ ,  $86 \pm 5$  y  $87.5 \pm 2.4\%$ . Éstos últimos con un promedio de  $83.8 \pm 4.6\%$ , como se muestra en la Figura 5-16).



**Figura 5-16. Viabilidad obtenida en filtros empacados con AM 2 mm**

La viabilidad en filtros empacados con AM de granulometría 0.6 mm en OD que va desde 10-30 cm encontró un  $73.3 \pm 20.2$ ,  $55.3 \pm 15.2$  y  $43.2 \pm 10.3\%$  de organismos larvados, mientras que para OM fue de  $86.2 \pm 7$ ,  $81 \pm 40.4$  y  $80.2 \pm 76.3\%$  y por último los empacados con PP de la misma granulometría registraron valores promedio de  $83.3 \pm 4.2\%$  para todos los casos (Figura 5-17).



**Figura 5-17. Viabilidad obtenida en filtros empacados con AM 0.6 mm**

El fenómeno de desinfección es gradual para OD con un promedio de  $9.5 \pm 5.5\%$ , el cual llega a un 100% a los 90-100 cm de profundidad, mientras que para la OM existe un promedio de  $13.6 \pm 24\%$  con un 100% a 140 cm (no constante).

En el caso de OD los valores constantes sugieren que el daño físico y químico son ocasionados por un arrastre continuo, donde las condiciones físicas del huevo (diferentes en la población) como: diámetro, resistencia de las capas, viabilidad, capacidad de reparación y la ocurrencia de eventos probabilísticos de contacto con plata y algunos otros metales con efecto desinfectante (Fe y Cu) favorecen el efecto de pérdida de viabilidad como se señala en Begon *et al.* (1990), Auvinet (1982) y Metcalf y Eddy, (1996), donde de hecho, en combinación con el tiempo de residencia registrado fomentan un resultado constante.

En lo concerniente a OM, existe un arrastre de mayor fuerza que incrementa el daño mecánico, pero con menor efecto químico para las primeras capas ( $\Delta L=10$  cm), ya que la filtración es menor en cada capa. Asimismo, se observa que al final de la curva el daño químico adquiere una gran importancia al registrarse una pérdida de viabilidad considerable (30%) en tan solo 10 cm.

Cabe destacar que los valores obtenidos para ambos casos durante las primeras capas son similares ( $\approx 4\%$ ), lo cual sugiere que se trata de un falso positivo, ya que las condiciones de operación son diferentes y los organismos son altamente resistentes.

En la Tabla 5-10, se incorporan los resultados esperados para el sistema filtrante de doble capa (180 cm) en OD y OM, tanto para el sistema empacado con AM y PP.

**Tabla 5-10. Comportamiento filtrante y de pérdida de viabilidad esperado en filtros de doble capa empacados con AM o PP en condiciones de OD y OM**

$\Delta L$ [cm]	FA (%)	$\pm\sigma$ (%)	PV(%)	$\pm\sigma$ (%)	FA (%)	$\pm\sigma$ (%)	PV (%)	$\pm\sigma$ (%)	FA(%)	$\pm\sigma$ (%)	PV(%)	$\pm\sigma$ (%)
0 <sub>AM2</sub>	0	0	87	4	0	0	87	4	0	0	80	4
F-10 <sub>AM2</sub>	48	4	75	3	20	4	80	3	0	0	83	3
F-20 <sub>AM2</sub>	53	23	72	2	35	23	79	2	0	0	84	5
F-30 <sub>AM2</sub>	66	4	63	5	42	4	75	5	0	0	87	3
F-40 <sub>AM2</sub>	75	4	55	5	48	4	75	5	0	0	80	8
F-50 <sub>AM2</sub>	77	9	49	3	53	9	72	3	0	0	78	7
F-60 <sub>AM2</sub>	82	4	36	4	66	4	72	3	0	0	84	5
F-70 <sub>AM2</sub>	84	4	22	11	71	4	70	4	0	0	87	3
F-80 <sub>AM2</sub>	86	4	3	5	80	4	70	11	0	0	80	3
F-90 <sub>AM2</sub>	93	0	0	0	82	0	66	5	0	0	84	7
F-100 <sub>AM2</sub>	93	4	0	0	93	4	61	0	0	0	82	2
F-110 <sub>AM2</sub>	97	4	0	0	95	4	50	0	0	0	81	5
F-120 <sub>AM2</sub>	100	0	0	0	95	0	33	0	0	0	85	3
F-130 <sub>AM2</sub>	100	0	0	0	97	0	33	0	0	0	86	4
F-140 <sub>AM2</sub>	100	0	0	0	97	0	0.00	0	0	0	87	2
F-150 <sub>AM2</sub>	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	87	2
F-160 <sub>AM0.6</sub>	F-150*0.8	0	78	5	F-150*0.96	0	42	0	0	0	86	4
F-170 <sub>AM0.6</sub>	F-160*0.91	9	75	3	F-160*0.93	0	66	9	0	0	80	3
F-180 <sub>AM0.6</sub>	F-170*0.95		68	6	F-170*0.87	0	71	0	0	0	83	4
Promedio	NA	4	NA	3	NA	2	NA	4	0	0	84	4
F-90 <sub>AM2</sub>	93	0	0	0	82	0	66	5	0	0	84	7
F-100 <sub>AM2</sub>	93	4	0	0	93	4	61	0	0	0	82	2

NA= No Aplica; F- = Filtro (Longitud en cm); PV= Pérdida de viabilidad;  $\sigma$ = Desviación estándar; FA= Filtración acumulada; AM<sub>2</sub> y 0,6 mm =Agregado Mineral granulometría

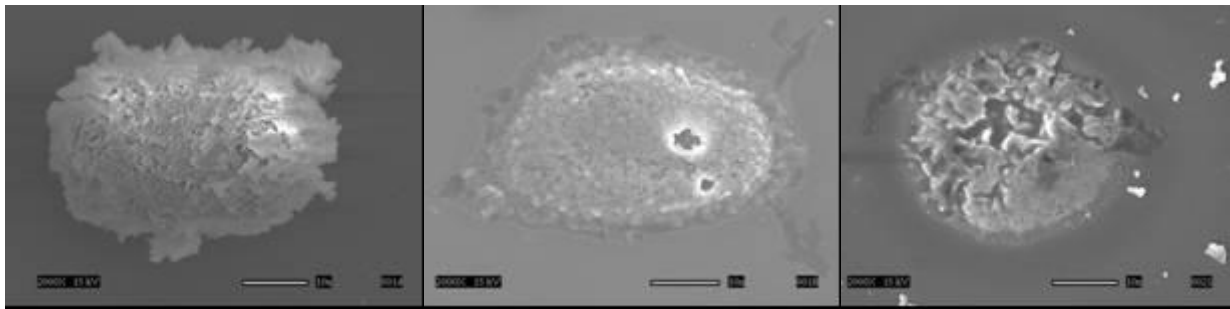
### 5.3.3 Toma de Imágenes

El efecto sobre los huevos de *T. canis* al pasar por los filtros con diferente longitud  $\Delta L=10$  cm y granulometría 2 y 0.6 mm se observa en la Figura 5-18.

En la primera imagen de la figura antes mencionada se muestra el organismo recuperado del filtro de 50 cm, donde se aprecian restos del AM adheridos al huevo y raspaduras en la estructura externa, lo cual ocasiona la pérdida de esfericidad que tenía originalmente, mientras que en la segunda (b), que fue recuperado de un filtro de 150 cm correspondiente a AM de 2 mm se observan dos perforaciones en la parte media, así como filamentos, raspaduras, deformaciones y la presencia de una sustancia de tipo mucilaginoso que rodea al organismo, lo cual sugiere un vertido del contenido nuclear o en su caso sustancia que podría ser de carácter protéico o de sustento y en la última (c) proveniente de un filtro de 180 cm (150 de AM de 2 mm y 30 cm de AM de 0.60) presenta un efecto más severo en comparación a todos los presentados anteriormente, al mostrar una ruptura total huevo ubicado en la parte superior. De igual manera al inciso anterior existen evidencias de laceraciones en la parte inferior del mismo, así como deformaciones, el líquido antes mencionado y AM adherido a él.

A partir de las imágenes de los organismos recuperados en los sistemas filtrantes, se puede observar que no se requiere de destrozarse el huevo para favorecer el efecto desinfectante, sin que con ello se garantice la inviabilidad del organismo. A pesar de ello, se puede apreciar que el daño sufrido en el huevo es más severo a medida que aumenta la profundidad del lecho. En el caso del organismo recuperado a 150 cm se observa que el huevo se encuentra roto, mientras que en el de 180 cm se asegura que el huevo de helminto ya no es viable.





AM 2 mm; 2000X;15KV  
recuperado a 100 cm

AM 2 mm; 2000X;15K  
recuperado a 150 cm

AM 0.6 mm; 2000X;15KV  
recuperado a 180 cm

**Figura 5-18. MEB de huevos de *T. canis* en diferentes filtros empacados**

#### 5.3.4 Probabilidad de contacto con plata, tortuosidad y avance promedio

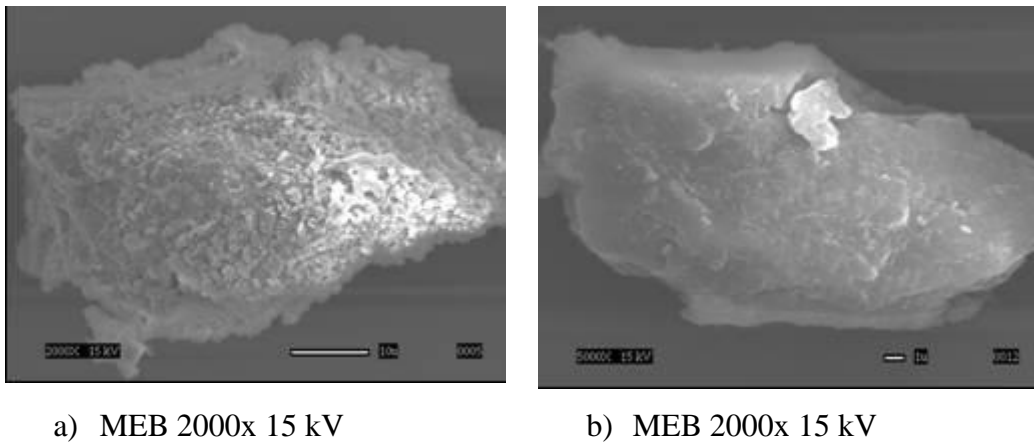
Se encontró que la probabilidad promedio de que exista un impacto con plata es de 26.32%. Asimismo la probabilidad independiente existente de quedar retenida en el medio filtrante de acuerdo al espacio intersticial es de 0.65 y 3.99 % para 2 y 0.6 mm (por poro atravesado), lo cual implica que la reducción de granulometría aumenta la probabilidad independiente de retención por poro en 6.09 veces.

En la prueba realizada en los sistemas filtrantes empleando AM 2 se registraron para las diferentes longitudes (10-150 cm) los resultados señalados en Figura 13-6 con un avance promedio de 0.57 cm/min (Figura 13-7). Asimismo, se efectuó un análisis de ajuste de regresión se encontró que el mayor valor de coeficiente de correlación ( $R^2$ ) fue de tipo lineal con 0.4057, donde éste se observa disminuido principalmente por el efecto producido durante el primer tercio del lecho, aunque la tortuosidad del líquido presentó un ajuste de tipo lineal con una  $R^2$  de 0.9857, lo cual implica un recorrido regular dentro del filtro para todas las longitudes evaluadas.

En el caso del filtro empacado con AM de 0.6 mm para las diferentes longitudes evaluadas (10-30 cm) se obtuvo un 0.30 cm/min de avance promedio (Figura 13-8).

Por otra parte, el tiempo teórico de permanencia estimado del huevo en el filtro de 180 cm en OD fue de 16.04 días y para OM de 13.1 días, lo cual implica una alta interacción con el material. Ello, ya que en las pruebas para ambas condiciones no se recuperaron huevos

completos en el filtrado, la cual tuvo una duración de 25 días. Sin embargo, se encontraron restos de ellos a partir de los 19.8 días y 15.3 días. Con ello, se concluye que la probabilidad de que un huevo resista el recorrido total y salga de él aún viable es nula, de hecho, la pérdida total de viabilidad se presenta durante la primera lecho y la segunda se encarga de destrozarse a los huevos, siempre y cuando el huevo llegue con daño mecánico considerable como, lo cual es evidenciado en la Figura 5-18 y en la Figura 5-19. En particular en esta última se observan daños a manera de cortes en la parte inferior (a) y superior (b).



**Figura 5-19. MEB de huevos de *T. canis***

### 5.3.5 Curva de operación

La operación de los sistemas filtrantes que se observan en la Figura 14-5 y Figura 14-6 se efectuaron para un tiempo máximo de 10 d, con un gasto de 0.04 L/h (OD) y 1.7 L/h (OM) para una temperatura de 20-30° C, los cuales son correspondientes a los tipos de operación antes mencionados y que muestran comportamientos progresivos en ambos casos (ANEXO VI). Para OD se observa un porcentaje de filtración promedio por cada 10 cm de lecho recorrido de 11.5% y de pérdida de viabilidad de 9.1%, mientras que para OM existe un 4.8% y 3.9 %, respectivamente, es decir hasta un 41.28% de menor eficiencia en el caso de filtración y un 43.09 por cada segmento de lecho recorrido, lo cual implica un 57% de diferencia. De igual forma, es importante mencionar que el cruce de ambas curvas se ubica

para el primer caso en 65% de pérdida de viabilidad y una profundidad de 30 cm, mientras que para el segundo tipo de operación ocurre al 70 % y 70 cm de profundidad y 30 cm y 70 cm, lo cual implica una menor eficiencia en cuanto a ambos parámetros evaluados.

Por otro lado, dentro de la curva de operación, se observa que los valores de desviación estándar obtenidos para cada  $\Delta L$  son consistentes con un 4.45% para filtración y un 2.80% para pérdida de viabilidad en OD, mientras que para OM se obtuvo un 2.80 y 4.45%, respectivamente. Para el primer caso se observó que a una longitud de 110 cm se obtiene el 100% de filtración (prospectado), así como a 100 cm el 100% de pérdida de viabilidad y el resto de la longitud del filtro evaluado (100-150 cm) funciona como protección del sistema, mientras que para OM se registra a 140 cm para ambos casos.

### 5.3.6 Perfil de filtrado

Se generó una gráfica que analiza la variación del porcentaje del filtrado con respecto al tiempo de operación (hasta 10 días de operación continua) para ambas condiciones de operación evaluadas (OD y OM) y que se observan en la Figura 14-5 y Figura 14-6, donde se encontró que para OD existe un el máximo de remoción a las 44 h para el filtro más corto (10 cm), mientras que para el más filtro largo con resultado se obtuvo a las 86 h (70 cm) y para OM se da a las 36 h (10 cm) y llega hasta las 87 h (70cm).

Es importante señalar que en los filtros que van de 100-180 cm no se recuperaron organismos en el efluente (100% remoción), aunque la prueba fue extendida hasta 25 días; es por ello que no se encuentran referidas en las figuras antes mencionadas.

Uno de los motivos es que una gran cantidad de ellos quedan retenidos en el espacio intersticial como se observa en el punto 5.3.2 y en la Figura 5-14, mientras que en algunos otros no se registraron huevos, lo cual quiere decir que se obtuvo un 100 % de remoción del caudal.

Es importante mencionar que dichos valores señalan el margen de operación y resultados que ofrece el sistema, por lo cual, dependiendo del lugar de instalación y forma de operación se pueden obtener resultados aproximados, ya que se operó en los dos extremos de operación del sistema.

Asimismo, que para profundidades superiores 100-180 cm solo se rescatan trozos de huevo y que a pesar de tener el filtro operando durante 25 días no se recuperaron huevos en el efluente, donde una de las razones es que quedan retenidos en el espacio intersticial y que la “pedacería” recuperada corresponde al sometimiento de los organismos al alto estrés mecánico. A pesar de ello, es considerable manejar filtros sobre-diseñados, ya que dichos organismos son altamente resistentes.

Adicionalmente, dicho perfil permite dar un seguimiento integral a la operación, ya que contiene datos importantes sobre las partículas retenidas, así como la ubicación precisa del organismo en el proceso de filtrado con respecto al tiempo a la operación. De igual manera dicha diferencia de longitudes son útiles para la realización de escalamientos posteriores.

### **5.3.7 Comparación con modelos cinéticos**

A través de la resolución de las ecuaciones diferenciales de Chick y Watson-Chick se encontró que el coeficiente de letalidad crece de acuerdo a la concentración empleada, obteniendo en todos los casos el mayor valor para 2 g/L.

En pruebas con agitación obtuvieron 0.068 y 0.063 en 0.6 y 2 mm, las cuales fueron seguidas por las efectuadas sin agitación con 0.052 y 0.049, donde dicho valor refleja la sensibilidad del organismo al desinfectante, él cual se incrementa hasta en un 27.94% en las pruebas que emplearon agitación. Por otro lado es importante señalar que el  $\text{AgNO}_3$  obtuvo 0.042 y por último el  $\text{Ag}^0$  con 0.039.

Los valores correspondientes a la constante de inactivación (K) en el caso de AM 2 y 0.6 mm CA resultó ser el mayor con 0.4048 y 0.3390, fueron seguidas de las SA con 0.010 y 0.043, donde en dichos valores se ven favorecidos AM 2 mm, ya que la aplicación de la fuerza en el experimento es lateral, con lo cual se favorece la entrada a subcapas del material, mientras que en una menor granulometría no se logra con tanta facilidad, ya que existe una mayor compactación del AM. Dichos valores se incrementan con respecto al tiempo, en comparación a los obtenidos para  $\text{AgNO}_3$  que obtuvo 0.018 y  $\text{Ag}^0$ , donde la primera es decreciente, mientras que la segunda es creciente, lo cual quiere decir que el efecto del  $\text{AgNO}_3$  actúa en un lapso corto de tiempo, mientras que la  $\text{Ag}^0$  lo hace paulatinamente, lo cual indica que  $\text{AgNO}_3$  interactúa con el organismo inmediatamente,

quedando al paso del tiempo una menor cantidad de éste, mientras que para el caso de la  $Ag^0$  el material se libera paulatinamente e interacciona con el organismo, provocando con ello un valor gradual.

Así entonces, se puede concluir que el AM brinda poder desinfectante a corto, mediano y largo plazo, ya que posee los estados de oxidación antes mencionados, donde cada uno ataca de diferente forma y con diferente poder desinfectante. Los resultados a detalle se muestran en el ANEXO VI

### 5.3.8 *Análisis de los sistemas filtrantes*

La prueba estadística de ANOVA aplicada a las diferentes longitudes del filtro empacado con AM 2 mm (0-150 cm) mostró que en el caso de OD existe una diferencia estadística en filtración para las diferentes profundidades del lecho (0-100 cm con un intervalo de confianza de 0.95 %) y de 0-110 cm para la pérdida de viabilidad, no siendo así para el resto de las profundidades (110-150 y 120-150 cm), como se observa en la Figura 5-12, mientras que para OM se observa una diferencia desde 0-140 cm para ambos casos) y para el AM 0.6 mm (10-30 cm) se observó para todas las profundidades, así como para ambos tipos de operación una diferencia estadística, En el caso de las PP no se encontró diferencia a ninguna de las diferentes profundidades evaluadas (10-150 cm), tanto para la filtración como para la pérdida de viabilidad a ningún tipo de operación, lo cual quiere decir que dicho material cumplió así su función de testigo, mientras que en base a dichas pruebas el AM si puede ser considerado como un material que favorece el efecto filtrante e inactivante en ambas granulometrías. Dicho análisis se observa con detalle en el ANEXO IV.

Por otra parte, los experimentos realizados de caracterización físicoquímica del material Tabla 5-2 y Tabla 13-1, ayudaron a dimensionar el daño esperado químicamente, necesitando así un filtro 15.50 veces mayor y que tendría un peso de 7.567 kg, lo cual confirma la importancia del daño mecánico proporcionado por el AM, así como del arreglo granulométrico establecido, al necesitarse solo de 0.5 kg con un contenido de plata de  $\approx 60.23$  mg (con eliminación del 100%), es decir un 96.82% menor. Dichos resultados se evidencian fotográficamente a través de microscopía óptica (ANEXO IV) y electrónica de barrido (Figura 5-18), en forma de daños irreparables al interior (material nuclear) y al

exterior disminución de la capa externa, raspaduras en el huevo e inclusive incrustación del material en ellos, donde en comparación con la fenología señalada en Rodríguez (2009) son concordantes a daño por plata, aunque no se descarta de ninguna manera que otros elementos con efecto inactivante como Fe, Cu, entre otros elementos contenidos en el AM tengan una contribución significativa para obtener dicho efecto.

En cuestión operativa es un sistema versátil, ya que el diseño permite operar un gasto de hasta 34.70 veces el de diseño (40.7 L/d); entregando el 100% de porcentaje de filtración y de pérdida de viabilidad, el cual puede ser modificado para otorgar un tiempo de residencia hidráulica (TRH) menor al empleado para huevos de helminto (120.4 min) y servir para eliminar otros organismos importantes dentro del agua residual como bacterias y otros microorganismos, dentro de las cuales se encuentra *Escherichia coli* (normado), el cual requiere un tiempo de contacto de 30 minutos (Miranda, 2005) con un 100% de efectividad. Así entonces con ello, se da una mayor versatilidad y robustez al sistema, al no solo limitarse en eliminar a los organismos para los cuales fue diseñado, sino de estar preparado para agua parcialmente tratada con carga de microorganismos normados.

El tiempo de agotamiento del filtro a OD fue de 85.81 años, sin embargo a OM resultó de 68.31 años (ANEXO III), con una liberación mínima total de plata (60 mg), Fe con 7.5 y Zn con 8.4 mg, que de acuerdo al perfil de disolución mostrado en la Tabla 13-2, donde se observa que los valores obtenidos son menores a lo señalado en la normatividad mexicana (Tabla 5-4). Los demás elementos analizados señalados peligrosos como As, Cu y Pb no fueron detectados dentro del extracto analizado bajo las condiciones de la prueba, aunque ellos se encuentran dentro de la matriz mineral en forma de trazas.

El tiempo de saturación mínimo, esperado a la capacidad de diseño, es de 39.13 años, mientras que trabajando a la capacidad máxima de operación es de 9.77 años suponiendo que no hay degradación de materia orgánica habiendo tratado 145138 L.

Por lo cual, dependiendo del lugar de instalación y forma de operación se puede programar el mantenimiento correspondiente a la limpieza del sistema, ya sea por retrolavado o por desempacado del mismo. Dado que tiene poco peso (0.5 kg) y se puede realizar en un espacio no mayor a 0.5 m<sup>2</sup>, donde su manejo y re-empacamiento puede ser efectuado fácilmente por el mismo usuario sin una preparación especializada, pero sobre todo sin

peligro de infección por helmintos para el ejecutante, ya que los organismos contenidos dentro del sistema son inviables.

Por otro lado, los diagramas y gráficas contenidas en el ANEXO VI, sirven para obtener valores de filtración y pérdida de viabilidad con precisión al momento de la operación, así como la opción de acceder a ellos por diferentes vías, ya sea por concentración empleada, por tiempo de residencia, por porcentaje de pérdida de viabilidad o de filtración, por profundidad de lecho o por resultado obtenido a través de ecuaciones que describen la desinfección.

Es importante destacar que para que dichos diagramas, nomogramas y ecuaciones se cumplan es importante dar un mantenimiento periódico, por lo cual se sugiere una limpieza cada 10 años, ya que se prospectó una saturación de 2.55 % por año, es decir cuando el sistema llegue a 1/4 de su capacidad de saturación (25.5 %); para evitar fallas de funcionamiento, disminución de la calidad de entrega y para que los comportamientos señalados en el ANEXO VI.

Por último, se puede concluir que el filtro es viable para los fines que fue diseñado (pérdida de viabilidad y filtración), tiene un tiempo de vida superior en comparación con otros sistemas empleados como ozono o UV, presenta el menor costo inversión en comparación con cualquier método empleado en desinfección \$7.00, requiere de muy poco mantenimiento (cada diez años) por el usuario y no le lleva a cabo más de 30 minutos, cumple con ser de fácil disponibilidad, manejo, operación, baja inversión y mantenimiento y de alta durabilidad y sobre todo ofrece resultados consistentes.

## 6 CONCLUSIONES

- Los huevos de *T. canis* muestran una pérdida de viabilidad al contacto con plata a todos los estados de oxidación y tiempos de exposición evaluados, donde el AM (0.6 mm) ( $Ag^0$ ,  $Ag^{+1}$ ,  $Ag^{+2}$ ) registró la mayor efectividad, seguidos del AM (2 mm) ( $Ag^0$ ,  $Ag^{+1}$ ,  $Ag^{+2}$ ), el  $AgNO_3$  ( $Ag^{+1}$ ), la granalla de plata ( $Ag^0$ ) y por último la plata coloidal ( $Ag^0$ ,  $Ag^{+1}$ ).
- Los AM ejercen un efecto de pérdida de viabilidad sobre los huevos de *T. canis* para las pruebas de contacto y para las pruebas de contacto con y sin agitación, donde el principal efecto se observa de manera fenológica como un adelgazamiento, raspaduras e inclusive rompimiento de la cubierta externa, así como por la heterogenización y disminución de la densidad nuclear, lo cual sugiere que puede ser causado por procesos mecánicos y oxidativos.
- Se obtuvieron algunos criterios útiles para elaborar, optimizar y escalar filtros desinfectantes similares, dentro de los cuales se encuentran concentración de plata para obtener el máximo poder desinfectante, tiempo de contacto efectivo, profundidad del lecho, granulometría e información relativa al proceso de desinfección e interacción del AM con el organismo, ya que conjunto permiten la optimización del sistema.
- El AM puede ser considerado como una alternativa prometedora que puede permitir una desinfección para huevos de helminto, ya que registró valores altos tanto en la pérdida de viabilidad para las pruebas de contacto y en sistemas filtrantes. Todos ellos con comportamiento estable (baja desviación estándar). Asimismo, es de fácil obtención y aplicación, bajo costo, durabilidad, de fácil disponibilidad, no aporta coloración, su manejo y transportación son seguros, es de bajo mantenimiento y se obtienen resultados desde tiempos de exposición y concentraciones bajas (trazas).



## 7 RECOMENDACIONES

- Se sugiere continuar con la investigación sobre filtros desinfectantes de huevos de helminto, ya que por sus buenos resultados constituyen una alternativa prometedora al ser de bajo costo fácil, construcción y manejo, así como de alta durabilidad y estabilidad.
  
- Evaluar de manera comparativa otros medios filtrantes y otras especies de helmintos de interés sanitario.
  
- Realizar el escalamiento del sistema y evaluarlo bajo condiciones reales.

## 8 REFERENCIAS CITADAS

1. Adams J. y Kayes G. (1979) Artificial Hatching and culture of *Toxocara canis* second stage Larvae, *J. Parasitol.*, 65(6), 969-970. 24 pp.
2. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA]. (1998) National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts. USEPA. Federal Register Document 63 (241), USA: 136 pp.
3. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA]. (1999a) Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con cloro. USEPA. Federal Register Document 832-F-99-062. Septiembre de 1999. 1-9 pp.
4. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA]. (1999b) Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con luz ultravioleta. USEPA. Federal Register Document 832-F-99-064. Septiembre de 1999. 1-9 pp.
5. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA]. (1999c) Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con ozono. USEPA. Federal Register Document 832-F-99-063. Septiembre de 1999. 1-9 pp.
6. Aguilar P., Jiménez B., Maya C., Orta T. and Luna V. (2006) Disinfection of sludge with high pathogenic content using silver and other compounds. *Water Sci. Technol.* 54(5), 179-187
7. Anderson R.C, A.G. Chabaud & S. Willmott (Eds.). (1974) CIH Keys to the Nematode Parasities of Vertebrates. Nos. 1-10. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal UK 765 pp.
8. Aranda L.A. (2001) Evaluación de la aplicación del reactivo de Fenton como un proceso de depuración y de desinfección de aguas residuales. Tesis de Licenciatura Facultad de Química, UNAM. 82 pp.
9. Army Corps of Engineers [ACE] (2010) Multimedia en internet. Filter experiments and design criteria (1955). U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg (TARDEC), Miss. 34 pp. Multimedia en internet. [www.swri.org/4org/d08/tardec/default/filtration/sandantracie.htm](http://www.swri.org/4org/d08/tardec/default/filtration/sandantracie.htm), (Consultado en mayo de 2010)
10. Auvinet G. (1982) Conceptos y técnicas recientes en materia de filtros para usos geotécnicos. Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería, UNAM 46 pp.
11. Ayala I. (2007) Efecto desinfectante del ozono sobre huevos de helminto, bacterias y amibas en aguas residuales. Tesis de licenciatura, UNAM. México. D.F. 53 pp.

12. Aycicek H, Yarsan E, Tanyksel H.O, Girginkardesler N. y Ozyurt. (2001) Efficacy of Some Disinfectants on Embryonated Eggs of *Toxocara canis*. *M. Turk. J. Med. Sci.*, 31: 35-39 pp.
13. Bazán R, Romero C, Valencia M, Nazario J. y García S. (2000) “Guía de prácticas de Edafología” Departamento de suelos UNALM. 234 pp.
14. Begon M, Harper J.L. y Townsend C.R. (1990) Ecology. Blackwell Scientific Publications: Boston, Massachusetts, USA. 945 pp.
15. Bitton D.S. (1994) Wastewater Microbiology. John Wiley and Sons. Inc. USA. 101-111 pp.
16. Bloomfield S.F: (1991) Methods for assessing antimicrobial activity. En: Mechanisms of action of chemical biocides. Their study and exploitation. The society for applied bacteriology Technical series No. 27. Editado por S. P. Denyer and W.B. Hugo Blackwell scientific publications. Oxford. Gran Bretaña. 1-21 pp.
17. Bratton R. y Nesse R. (1993) *Ascariasis*: an infection to watch for immigrants. *Postgrad Med* 1993; 93: 171-178.
18. Brusca R.C. y Brusca G.J. (2002) Invertebrates. 2da Edición. Sinauer Associates, Inc., E.U.A. 37-98 pp.
19. Buitrago G.V, López A.P, Coronado A.P. y Osorno F.L. (2004) Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 8(1):1-5 pp.
20. Caspeta J.M. (2005) Nematode parasites of freshwater fish in Mexico: key to species, descriptions and distribution. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. 175 pp.
21. Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología del Agua [CIDTA] (2008) Multimedia en internet <http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/DESINFECCION.pdf>, (Consultado en mayo de 2008)
22. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS]. (2008a) Manual de diseño de galerías filtrantes Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural. Multimedia en internet. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cosude/xiv.pdf>, (Consultado en mayo de 2008).
23. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS] (2008b) Multimedia en internet.

- <http://www.cepis.opsoms.org/bvsacep/e/sobrecep.html#elcepis>, (Consultado en mayo de 2008)
24. Crites R. y Tchobanoglous G. 2000. Tratamiento De Aguas Residuales En Pequeñas Poblaciones, Mc. Graw-Hill, 776 pp.
  25. Davies R. y Etris S. (1997) The development and functions of silver in water purification and disease control. *Catalysis Today*, 36, 107-114. pp.
  26. De la Fé P, Duménigo B.E, Brito Alberto E. & Aguiar J. (2006) Multimedia en internet. *Toxocara canis* y Síndrome Larva Migrans Visceralis (*Toxocara canis* and Syndrome Larva Migrans Visceralis). *Revista Electrónica de Veterinaria*. 7(4). Multimedia en internet. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040406.html>, (Consultado en octubre de 2008).
  27. Departamento del Distrito Federal [DDF]. (2008) Multimedia en internet. <http://www.ddf.gob.mx>, (Consultado en octubre de 2008).
  28. Duménigo B.E y Lao N. (1994) Prevalencia de *Toxocara canis* en perros caseros de Ciudad de La Habana. *Rev. Cub. Med. Trop.*, 46:99-102 pp.
  29. Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento [ENOHS]. (2010) Multimedia en internet. Fundamentación-Cap X- desinfección. Multimedia en internet. [http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/residuales\\_sanitaria/ENOHSa%20Fundamentaciones%20Desinfeccion.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/residuales_sanitaria/ENOHSa%20Fundamentaciones%20Desinfeccion.pdf), (Consultada en mayo de 2008).
  30. Felder R.M. y Rousseau R.W. (1986) Elementary Principles of Chemical Processes (Wiley Series in Chemical Engineering) John Wiley & Sons, 2ª Edición, 347 pp.
  31. Ferrer M, Costa M, Bonafeu M.D, Estrada M. y Roger E. (1998) Ciencias de la Tierra y del medio ambiente. 2ª. edición. Barcelona: Editorial. Castellnou. 236 pp.
  32. García J.L, Mejía L, Bandala E. y Corona B. (2008) Inactivación de huevos de heminto mediante fotocátalisis homogénea. *Aquaforum*, 12(49):14-18
  33. Gaudy A.F. y Gaudy E.T. (1981) Microbiology for environmental scientist and engineers. McGraw Hill International. Tokio, Japon. 665-703 pp.
  34. González G.T. (2006) Distribución anatómica de larvas somáticas de *Toxocara canis* en la musculatura y tejido cerebral de jerbos mongólicos y ratones blancos de la cepa CD-1. Tesis de licenciatura FESC-UNAM. México. 46 pp.
  35. Gyürék L.L. y Finch G.R. (1998) Modeling water treatment Chemicals disinfection kinetics. *J. Env. Eng.*, 124(9): 783-793 pp.

36. Institute for International Cooperation in Animal Biologics. (2008) Multimedia en internet. <http://www.cfsph.iastate.edu>, (Consultado en mayo de 2008).
37. Instituto Nacional de Salud Pública [INSP]. (2008) Multimedia en internet. <http://www.insp.mx/rsp/esiduals/articulo.php?id=001206>, (Consultado en mayo 2008).
38. Jenkins J.B. (1997) Genética. Editorial Reverté. 1 ed. México, 800 pp.
39. Jiménez A. (1997) Desinfección de efluentes procedentes de un tratamiento biológico y de un físico-químico, empleando ozono. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM. 82 pp.
40. Jiménez, B. (2007) Multimedia en internet. Helminths (worms) eggs control in wastewater and sludge. International Symposium on New Directions in Urban Water Management. UNESCO Paris. Multimedia en internet. <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-helminths-eggs-control-wastewater-sludge-2007.pdf>. Sustentado por: Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, (Consultado en mayo 2008).
41. Jiménez B. y Maya C. (2007) Multimedia en internet. Helminths and Sanitation. Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology A. Méndez-Vilas (Ed.). Multimedia en internet. <http://www.formatex.org/microbio/pdf/Pages60-71.pdf>, (Consultado en mayo de 2008).
42. Jiménez B, Nelson K, Barrios J.A, Pecson B. y Maya C. 2006. Técnicas analíticas para medir y controlar huevos de helmintos en las aguas residuales. Eliminación de parásitos, tratamiento y reúso de aguas Proyecto 7.3.8 Ingeniería Ambiental, UNAM. Multimedia en internet. [http://proyectos.iingen.unam.mx/Proyectos\\_2005\\_2006/07/7.3.8.pdf](http://proyectos.iingen.unam.mx/Proyectos_2005_2006/07/7.3.8.pdf), (Consultado en mayo 2008).
43. Johnson M.D, Lambert R.J.W, Hanlon G.W. y Denyer S.P. (2002) A rapid method for assessing the suitability of quenching agents for individual biocides as well as combinations. *Journal of Applied Microbiology* 2002, 92, 784–789 pp.
44. Kennedy M.W. (2005) *Toxocara*: the enigmatic parasite Eds: Holland C. y Smith, H. V. The larval surface. Cap: 3 32-45 pp.
45. Kloch A, Bednarska M. & Bajer A. (2005) Intestinal macro- and microparasites of wolves (*Canis lupus lupus*) from north-eastern Poland. Recovered by coprological study. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 12: 237–245 pp.

46. Larroza M. y Olaechea F. (2010) Comparación de la morfología y la viabilidad de huevos de *Fasciola hepatica* en distintos hospedadores en Patagonia. *Vet. Arg*, 268(28): 1-5 pp
47. Laurent P. (2005) Multimedia en internet. Household drinking water systems and their impact on people with weakened immunity. Multimedia en internet. [http://www.who.int/household\\_water/research/HWTS\\_impacts\\_on\\_weakened\\_immunity.pdf](http://www.who.int/household_water/research/HWTS_impacts_on_weakened_immunity.pdf), (Consultado en octubre 2010).
48. Lewin B. (2010) Lewin's Genes X, EDS: Krebs J.E., Goldstein E.S. and Kilpatrick Sudbury, Mass Jones and Bartlett publishers. 856 pp.
49. Litter J, Blesa M.A, Meichtry M, De la Fuente L, Levy K, Mateu M, Hidalgo M, Apella C, D'Hiriart J, Powell P, Jardim W, Mntagner C, Ceballos B, Cornejo L, Leal M.T. Jiménez A, Rodríguez J, Rimachi J. y Billvik M. (2005) Multimedia en internet. Tecnologías Económicas para la desinfección y descontaminación de aguas en zonas rurales de América Latina. Multimedia en internet. <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/agua/pura/Informe2005finalWEB.pdf>, (Consultado en junio 2008).
50. Magaña R. (2007a) Problemática del tratamiento de agua sometida a cloración, y elaboración de un proceso complementario en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro de la Estrella Tláhuac, México. Tesis Licenciatura, Facultad de Química, UNAM. 99 pp.
51. Magaña R. (2007b) Comunidades de helmintos de dos especies de peces del Rio Papaloapan, Veracruz. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. 99 pp.
52. Magaña R, Ramírez H, Aburto S, Segura J.B. y Luna V.M. (2010) Efecto de diferentes estados de oxidación de la plata en la pérdida de viabilidad de huevos de *Toxocara canis* (Werner, 1782), Memorias del XXXII congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, Rep. Dom, AIDIS 1-8 pp.
53. Maldonado V. (2010) Multimedia en internet. Filtración. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental [BVDSSA] Multimedia en internet. <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoII/nueve.pdf>, (Consultado en septiembre del 2010).
54. Margolis L, Esch G.W, Holmes J.C, Kurrs A.M. y Schad G.A. (1982) The use of ecological terms in parasitology (report of an ad hoc committee of The American Society of Parasitologists). *Journal of Parasitology*, 68: 131-133 pp.
55. Marr J. y Müller M. (1995) *Biochemistry and Molecular Biology of parasites*. Academic Press. Inc, 349.p

56. Martínez, M.E. (2003) “Desinfección de efluentes secundarios mediante la ionización de plata y cobre para su reutilización en sistemas de enfriamiento”. Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Campus Morelos. Tesis de Maestría 11-77 pp.
57. McCabe W, Smith J.C, Harriot P. (1985) Unit operations in chemical engineering. 4ª edición, McGraw Hill, 485 pp.
58. Melendez B. y Fuster J. (2003). Geología, 9º edición, Thomson Editores, Madrid, España. 911 pp
59. Metcalf y Eddy. (1996) Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Vol. 1 McGraw Hill. 234 - 250 pp.
60. Miranda M. (2005) Estudio y evaluación del poder germicida de compuestos de plata en aguas residuales parcialmente tratadas. Tesis Maestría, UNAM, Facultad de Química. UNAM. 122 pp.
61. Morales A. (2010) Síntesis y evaluación de nano-fotocatalizadores soportados tipo fenton para remover parásitos (Ascaris summ) presentes en agua. Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
62. Moravec F. (1998) Nematodes of vertebrates of the Neotropical Region. Academia, Praha. 464 pp.
63. Mujeriego R. (1998) Evolución y perspectivas de la reutilización de aguas en España. En: jornadas Técnicas: La gestión del Agua Regenerada. 1-13 pp.
64. Neftafim. (2008) Multimedia en internet. Multimedia en internet. [http://www.netafim.com.mx/Nuestros\\_Productos/Filtros/Filtros\\_de\\_Grava/](http://www.netafim.com.mx/Nuestros_Productos/Filtros/Filtros_de_Grava/), (Consultado en diciembre 2008).
65. Nelson F.L. y Cox M.M. (2005) Lehninger Principles of Biochemistry, 4º ed., W:H. Freeman, New York 954 pp.
66. Nestor J, Pasamonte L, Marinconz R, De Marzi M, Cajal S. y Malchiodi E. (2000) Parasitosis zoonóticas transmitidas por perros en el Chaco Salteño. Medicina-Buenos Aires, 60:217-20 pp.
67. NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Nación. Junio 22 de 1997, México, D. F.

68. NOM-003-SEMARNAT-1997. Norma Oficial Mexicana Protección ambiental. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Abril 23 de 2003, México, D. F.
69. NOM-004-SEMARNAT-2002. Norma Oficial Mexicana Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Agosto 15 de 2003, México, D. F.
70. NOM-052-SEMARNAT-1993, Norma Oficial Mexicana que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Octubre 23 1993, México, D. F.
71. NOM-127-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana Productos y servicios - salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Noviembre 12 de 1995, México, D. F.
72. NOM-201-SSA1-2002 Norma Oficial Mexicana Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. Agosto 12 de 2002, México, D. F.
73. Northington C.W, Chang S.L. y Mccabe L.J. (1970) Health aspects of wastewater reuse En: Water quality improvement by physical and chemical processes III. Washigton D.C. 56-98 pp
74. Ocampo R, Salgado R. y Román J. (1992) La omnipresencia de las helmintiasis. Salud Pública de México, Vol. 34(3):357-360 pp.
75. Organización Mundial de la Salud [WHO]. (1987) Prevención y control de infecciones parasitarias intestinales. Ginebra: OMS
76. Organización Mundial de la Salud [WHO]. (2009) Multimedia en internet. Filtros lentos. <http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-filtros.htm>, Multimedia en internet. (Consultado en septiembre del 2010).
77. Pourbaix M. (1963) Capítulo IV sección 14.2 Argent. En Atlas D'équilibres electrochimiques. Gautier. Paris, Francia. 396 pp.
78. Procuraduría Federal del Consumidor [PROFECO]. (2010) Multimedia en línea. 7 buenas razones para hacer su propia plata coloidal. Multimedia en internet. <http://revistaprofeco/6508/20107/buenas/razones/para/platacoloidal.html>, (Consultado en mayo de 2008).



79. Quezada C. (2010) Multimedia en internet. Darcy y su contribución a la hidráulica. Multimedia en internet. [www.ciencia-ahora.cl/Revista18/10DarcyHidraulica.pdf](http://www.ciencia-ahora.cl/Revista18/10DarcyHidraulica.pdf), (Consultado en diciembre de 2010).
80. Quiroz R.H. (1984) Parasitología y enfermedades de los animales domésticos. 1º Edición. LIMUSA, México 234 pp.
81. Reyna J, Limón A. E. y Nava R. (2007) Invasión intestinal por *Toxocara canis* como diagnóstico diferencial de linfoma: informa de un caso, *Enfermedades infecciosas Residuales*, 27 (3): 100-102 pp.
82. Reynolds T.D. y Richards P.A. (1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2da Edición, PWS Publishing Company 211-247 pp.
83. Rojas M.N, Orta M.T, Vaca-Mier M. And Franco. (2004) V “Ozonation By-products Issued From the Destruction of Microorganisms Present in Wastewaters Treated for Reuse” *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 50(2) 187-193 pp.
84. Rojas M.N, Orta M.T, y Franco, V. (2008) Comparación de mecanismos de acción de desinfectantes aplicados en aguas residuales, *Aquaforum*, 12(49) 19-22 pp.
85. Skoog D.A. & Leary J.J. (1994) Análisis instrumental. 4ª edición, Madrid, España, McGraw-Hill, Interamericana de España, España. 543 pp.
86. Sobsey M.D. (2002) Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. WHO, Geneva, Switzerland. Multimedia en internet. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/wsh0207/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/en/index.html) (Consultado en julio de 2009)
87. Steel R.G.D. & Torri J.H. (1981) Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. Mc Graw- Hill. London 633 pp.
88. Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Área de Edafología y Química agrícola Multimedia en internet. [UEX]. (2009) Multimedia en internet. <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFDensidad.htm>, (Consultado en abril de 2009).
89. Universidad de las Américas Puebla [UDLAP]. (2010) Multimedia en internet. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/ponce\\_o\\_e/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo5.pdf), (Consultado en abril 2009).
90. Universidad de Málaga [UMA]. (2008) Multimedia en internet. <http://www.uma.es>, (Consultado en abril 2009).

91. Vásquez-Garibay E.M, Romero-Velarde E, Nápoles-Rodríguez F, Nuño-Cosío M.E, Trujillo-Contreras F. & Sánchez-Mercado O. (2002) Prevalencia de deficiencia de Hierro y Yodo, y parasitosis en niños de Arandas, Jalisco, México. *Salud Pública de México* 2002; 44(3):195-200 pp.
92. Voet D, Voet J. y Pratt C. (2006) *Fundamentos de Bioquímica*. Ediciones Panamericanas, Barcelona. 1700 pp.
93. Wilson M. (1989). *Igneous Petrogenesis, a global tectonic Approach* Ediciones Unwin Hyman, Londres, 466 pp. Multimedia en internet. <http://www.geologyorgres.edu.uk/students/upload/help/notes.pdf> (Consultado en junio de 2010)
94. Wang J, Huang C.P. & Pirestrani D. (2003) Interactions of silver with wastewater constituents, *Water Research*, 37: 4444-4452 pp.
95. Warren K. (1990) An integrated system for the control of the major human helminth parasites. *Acta Leidensia*, 59(1-2):433-442 pp.
96. Ximénez-García. (2010) *Las parasitosis intestinales en México*, 1ª ed., Cuadernos de la Fundación Mexicana para la Salud, Multimedia en internet. <http://www.funsalud.org.mx/quehacer/publicaciones/cuaderno36/cuaderno36.pdf> (Consultado en septiembre de 2010).
97. Zaman V. (1988) *Atlas a color de parasitología clínica*. 2ª edición, Medica panamericana. Edición Argentina. 335 pp.



## 9 ANEXO I

### 9.1 Técnicas de caracterización física y fisicoquímica de los materiales empleados

Los procedimientos se efectuaron de acuerdo a las metodologías empleadas en Bazán *et al.* (2000), Buitrago *et al.* (2004), Miranda (2005) y UEX (2009)

#### Caracterización física

##### Densidad real

Se designa con este término a la relación masa/volumen existente en la fase sólida de un compuesto (UEX. 2009).

Para su cálculo se empleó la siguiente técnica:

- 1.-Se pesa un matraz aforado de 100 ml vacío.
- 2.-Se adicionan 10 g de muestra.
- 3.-Se llena hasta tener la mitad del recipiente agua destilada.
- 4.- Se agita suavemente en forma de ocho o circularmente (de manera horizontal) durante dos minutos con el objetivo de sacar todo el aire contenido en el material y el ocasionado por el mezclado.
- 5.- Dejar reposar por un tiempo aproximado de tres a cinco minutos.
- 6.- llenar el matraz hasta el aforo.
- 7.- Pesar el matraz con la muestra y el agua por separado se pesa el matraz solamente con agua.

Se calculó a partir de la ecuación siguiente:

$$\text{Densidad real} = \frac{S}{S + A - (s + a)}$$

Donde:

S = masa de la muestra sola [g]

A = masa del agua sola [g]

s + a = masa de la muestra y agua [g]

##### Densidad aparente

Refleja la masa de una unidad de volumen de material seco y no perturbado que incluye tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella (Universidad de Extremadura [UEX]. 2009). El valor obtenido es muy variable, ya que depende del volumen de los poros según sea el material. Si el material es compacto la densidad sube. Su valor nos permite establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa y masa/superficie (UEX, 2009)

El procedimiento es el siguiente:

- 1.-Se pesa una probeta vacía del volumen requerido de acuerdo a la cantidad de material empleada.
- 2.-Agregar material al cual se le determinará la densidad hasta el límite señalado de la probeta.
- 3.- Se elimina el espacio existente entre el material por la técnica de “golpeado”, o también conocida como la 10-10; la cual consiste en golpearlo ligeramente 10 veces sobre la mesa a una distancia de 10 cm.
- 4.-Agregar lo que falte para completar los 10 o 100 ml de la muestra.
- 5.- Pesar la probeta con la muestra y proceder a calcular como sigue:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{A - B}{V}$$

Donde:

A= masa de la probeta mas el agregado [g]

B= masa de la probeta vacía [g]

V= volumen [mL]

### Porcentaje de porosidad

Se utiliza su valor para dar una idea de la estructura general del medio, ya que refleja el dominio natural de las fases líquida y gaseosa del suelo, donde la primera limita el espacio ocupado por la segunda. Depende de la textura, estructura y a lo largo del tiempo se verá modificada de la actividad biológica que pueda desarrollarse en ella. Se encuentra dada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total (UEX, 2009).

Con los resultados obtenidos de la densidad aparente y la densidad real, se calcula el porcentaje de espacio poroso existente en la muestra, calculándose como sigue:

$$\% \text{ de Porosidad} = 100 \left[ 1 - \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \right]$$

### Permeabilidad

Para su determinación se llevo a cabo el ensayo de Lefranc modificado, el cual se emplea para medios permeables o semipermeables de tipo granular. El valor obtenido refleja la capacidad de un material para captar una cantidad de líquido, ya sea con carga constante o variable partiendo de un material seco a través de su nivel de admisión (permeabilidad máxima) de acuerdo a tiempos y caudales expuestos. El aire expulsado se regula en el medio de soporte, estabilizándose a lo largo del tiempo (nivel y velocidad de descenso), lo cual indica que ya se ha logrado un régimen permanente (permeabilidad promedio). (UEX, 2009). A continuación se menciona el procedimiento seguido:

- 1.- Se pesa una cantidad de material 10 g y de manera paralela se vacía 50 mL a una probeta.
- 2.- Se pesan ambos por separado peso seco.
- 3.- Se pone en contacto al material con el agua (hasta que quedé cubierto completamente) y registrar la cantidad de agua.
- 4.- Se deja por un periodo de 30 segundos y se extrae todo el líquido con una pipeta de punta fina.
- 5.- Se pesa la muestra. Por diferencia de pesos se obtiene la permeabilidad del material.
- 6.- La primera obtenida será la permeabilidad máxima.
- 7.- Debido a que cada material es diferente se debe llevar a cabo las repeticiones correspondientes hasta observar una estabilización.
- 8.- El promedio existente entre las mediciones corresponde a la permeabilidad promedio (+desviación estándar).
- 9.- Se el valor final con respecto al tiempo corresponde al porcentaje de permeabilidad.

Calculándose como sigue:

$$\text{Permeabilidad Máxima} = \frac{\text{Peso seco} \times 100}{\text{Peso húmedo}_{(\text{máximo})}}$$

$$\text{Permeabilidad Promedio} = \frac{\text{Peso seco} \times 100}{\text{Peso húmedo}_{(\text{promedio})}}$$

Donde:

Peso seco = [g]

Peso húmedo = [g]

Permeabilidad promedio = %

### Retención

Con los resultados obtenidos de la de la permeabilidad, se calcula el porcentaje de de retención existente en la muestra como se señala en el inciso anterior. Dicho fenómeno se puede analizar con carga constante como el caudal que se necesita para mantener constante el nivel o medir la velocidad y el tiempo de descenso del nivel de agua. Dicha propiedad se fundamenta en la capacidad de un material para retener un líquido con respecto al tiempo (UEX, 2009) y se calculó como sigue:

$$\text{Retención} = \frac{(P_{\text{prom}} \times 100)}{P_{(\text{max})}} - 100$$

Donde:

$P_{\text{prom}}$  = Permeabilidad promedio en %

$P_{\text{max}}$  = Permeabilidad máxima en %

### Conductividad hidráulica

Consiste en la velocidad en que el agua que fluye en un medio poroso, la cual es directamente proporcional al gradiente hidráulico causado por el flujo (ley de Darcy 1856) (Quezada, 2010). Se evaluó como:

$$Q = K \times A \times h/L$$

Donde:

Q = caudal [m<sup>3</sup>/d]

K = conductividad hidráulica [m/d]

A = área [m<sup>2</sup>]

h = altura de agua [m]

L = largo de la muestra de suelo [m]

El procedimiento se señala a continuación:

- 1.- Se coloca un volumen de material en el permeámetro de carga constante
- 2.- Se adiciona un gasto (Q) constante a la entrada

3.- Se coloca una probeta de 1 L y se mide el Q a la entrada del sistema, en el desvío y a la salida (balance de masa).

4.- Se registran los tiempos requeridos en llenar el volumen de la probeta

### **Caracterización fisicoquímica**

#### **Difracción de rayos X**

Es un método analítico empleado para la identificación cualitativa de compuestos cristalinos presentes en un sólido, (Skoog y Leary, 1994; Universidad de Málaga [UMA], 2008)

El equipo empleado fue un Siemens D5000 con tubo de Cu, radiación Cu  $k\alpha_1 = 1.5046$  y filtro de Ni, en el intervalo angular de  $0-90^\circ$  en condiciones de operación de 35 KV y 30 mA

#### **Microscopía electrónica de barrido (MEB)**

Emplea electrones en lugar de luz para formar una imagen y permite la visualización y análisis morfológico de muestras biológicas y minerales con volumen. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. Es una técnica llevada a cabo al vacío, por lo cual no es posible introducir el agregado metálico en polvo, se compactará (formado de pastillas), con un aglutinante y un recubrimiento de una película de carbono. (Skoog y Leary, 1994). Se empleo un microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM 5900 LV a 10-15 KV y una ionizadora JEOL JFC 1100, para posteriormente ser observado en un equipo microscopio electrónico de transmisión marca JEM 1200 Ex-11 a 10-15 KV. En el caso del AM se empleó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM 5900 LV de 10-15 KV Para generar las imágenes del AM.

#### **Análisis multielemental**

A partir de los análisis llevados a cabo con ayuda de la MEB con difracción de Rayos X se integró una tabla con el contenido cuantitativo (%) de los elementos químicos que componen al AM.

## 10 ANEXO II

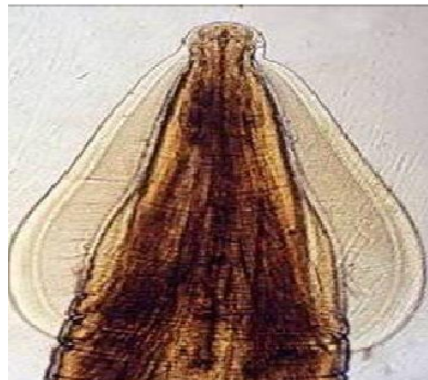
### 10.1 Técnicas helmintológicas empleadas

#### Aclaramiento

Se efectuó el procedimiento señalado en Caspeta (2005), consistente en la exposición a soluciones graduales de glicerina con agua, la cual se señala a continuación: Se colocó y extendió al helminto en un portaobjetos, con una pipeta Pasteur se introdujo la mezcla de glicerina 1:20 y se depositó nuevamente sobre una plancha caliente hasta evaporar la mezcla, en seguida se llevó a cabo la introducción de la mezcla con la misma relación hasta la evaporación. Posteriormente se introdujo por las orillas del cubreobjetos la solución 1:15, hasta la evaporación y con su respectiva repetición. Se continúa así las siguientes concentraciones 1:10, 1:5, 1:2 y 1:1; todas ellas con dos cambios de glicerina por paso, o en su defecto se realiza el paso una sola vez de acuerdo al grado de aclaramiento (Magaña, 2007b).

Ésta técnica fue utilizada con el objeto de poder apreciar con claridad algunas estructuras importantes para la identificación taxonómica precisa, por ejemplo: estructuras en los huevos, filamentos o las estructuras de la boca del organismo. En la Figura 10-1, se observa al ejemplar adulto empleado para la identificación taxonómica.

El estudio taxonómico de los helmintos, se realizó con base en las claves taxonómicas y literatura especializada; Moravec (1998) y Caspeta (2005) respectivamente.



**Figura 10-1. Parte dorso-ventral-anterior de hembra adulta de *T. canis* (aclaramiento)**



## 11 ANEXO III

### 11.1 Memoria de cálculo del filtro

#### **PROPIEDADES DEL AM**

$$\rho_{real} [kg/m^3] = 1280$$

$$\rho_{real} [kg/m^3] = 2180$$

$$Porosidad (\%) = 40.88$$

$$Permeabilidad (\%) = 15.33$$

$$Factor\ de\ esfericidad = 0.83$$

El diseño corresponde a lo puntualizado en 5.5.1, donde se busca de acuerdo a lo señalado en 5.5.1 un tiempo de residencia de 120 minutos y que a su vez no supere los 2 m de altura.

#### ***Cálculo Teórico del filtro 1.30 m (d = 2.00 mm)***

$$D = 1/2 \text{ in}$$

$$r = 0.00635 \text{ m}$$

#### ***Volúmen disponible en el filtro***

$$Vol.\ disponible = \pi * r^2 * L$$

$$[m^3] = [ ] * [m] * [m] * [m]$$

$$[m^3] = \pi * (0.00635 \text{ m})(0.00635 \text{ m}) * 1.30 \text{ m}$$

$$Vol.\ disponible = 0.000016 \text{ m}^3$$

#### ***Masa contenida en el filtro***

$$masa\ contenida\ en\ el\ filtro = (\rho_{real})(vol\ disponible\ sin\ material)$$

$$[kg] = \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * [m^3]$$

$$[kg] = \left( \frac{2180 \text{ kg}}{m^3} \right)_{real} * (1.6 * 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$masa\ contenida\ en\ el\ filtro = 0.359 \text{ kg}$$

#### ***Volúmen necesario en el filtro***

$$vol.\ necesario\ en\ el\ filtro = (Vol.\ en\ el\ filtro\ sin\ material * porosidad)/100$$

$$[m^3] = [m^3] * [ ] / 100$$

$$[m^3] = (1.64 * 10^{-4} [m^3] * 0.4488) / 100$$

$$vol.\ necesario\ en\ el\ filtro = 7.24 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

**Volúmen libre para el agua**

$$\text{Vol. libre para el agua} = \text{Espacio libre para el agua} * 1 \times 10^6$$

$$[m^3] = [mL] * 1 \times 10^6$$

$$[m^3] = 7.245 \times 10^{-5} [m^3] * 1 \times 10^6 \left[ \frac{mL}{m^3} \right]$$

$$\text{Vol. libre para el agua} = 72.459 \text{ mL}$$

**Gasto suministrado (Q)**

$Q = \text{volumen disponible para rellenar el filtro} / \text{tiempo de residencia necesario}$

$$[mL/seg] = [mL]/[seg]$$

$$[mL/seg] = (72.45 \text{ mL}) / (5400 \text{ seg})$$

$$\therefore Q \text{ sugerida} = 1.3 \times 10^{-2} \text{ mL/seg}$$

**Tiempo de residencia hidráulico  $\theta$**

$\text{Tiempo de residencia hidráulico} = \text{Tiempo de residencia del agua} / 60$

$$[seg] = [seg] / [min/seg]$$

$$[seg] = [5400 \text{ seg}] / [60 \text{ min/seg}]$$

$$\text{Tiempo de residencia hidráulico} = 90 \text{ min}$$

**Longitud total teórica del filtro**

Debido a la probabilidad estadística calculada 12.67 % y factor de seguridad 15%; se opto adicionar 15% (20 cm)

$\therefore \text{Longitud total del filtro} = \text{Longitud calculada} + \text{factor de seguridad}$

$$[m] = [m] + [m]$$

$$[m] = 1.30 \text{ m} + ((1.30 \text{ m}) * (.15))$$

$$\text{Longitud total teórica del filtro} = 1.50 \text{ m}$$

**Cálculo Teórico del filtro 1.50 m ( $d = 2.00 \text{ mm}$ )**

$$D = 1/2 \text{ in}$$

$$r = 0.00635 \text{ m}$$

**Volúmen disponible en el filtro**

$$\text{Vol. disponible} = \pi * r^2 * L$$

$$[m^3] = [ ] * [m] * [m] * [m]$$

$$[m^3] = \pi * (0.00635 \text{ m}) (0.00635 \text{ m}) * 1.50 \text{ m}$$

$$\text{Vol. disponible} = 0.000019 \text{ m}^3$$

**Masa contenida en el filtro**

$\text{masa contenida en el filtro} = (\rho_{\text{real}}) (\text{vol disponible sin material})$

$$[kg] = \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * [m^3]$$

$$[kg] = \left( 2180 \frac{kg}{m^3} \right)_{real} * (1.9 * 10E - 4 m^3)$$

masa contenida en el filtro = 0.414 kg

### **Volúmen necesario en el filtro**

vol. necesario en el filtro = (Vol. en el filtro sin material \* porosidad)/100

$$[m^3] = [m^3] * [ ] / 100$$

$$[m^3] = (1.9 \times 10^{-4} [m^3] * 0.4488) / 100$$

$$vol. necesario en el filtro = 8.36 \times 10^{-5} m^3$$

### **Volúmen libre para el agua**

Vol. libre para el agua = Espacio libre para el agua \*  $1 \times 10^6$

$$[m^3] = [mL] * 1 \times 10^6$$

$$[m^3] = 8.36 \times 10^{-5} [m^3] * 1 \times 10^6 \left[ \frac{mL}{m^3} \right]$$

$$Vol. libre para el agua = 83.606 mL$$

### **Gasto calculado (Q)**

Q = volumen disponible para rellenar el filtro / tiempo de residencia necesario

$$[mL/seg] = [mL] / [seg]$$

$$[mL/seg] = (83.606 mL / (5400 seg))$$

$$\therefore Q \text{ calculada} = 1.54 \times 10^{-2} mL/seg$$

### **Tiempo de residencia hidáulico □**

Se retoma el gasto sugerido anteriormente para  $1.30 m = 1.34 \times 10^{-2} mL/seg$

Tiempo de residencia del agua = vol libre para el agua / gasto sugerido

$$[seg] = [83.606 mL] / [1.34 \times 10^{-2} mL/seg]$$

$$Tiempo de residencia del agua = 6230.76 ml/seg$$

$$[seg] = [6230.76 ml/seg] / [60 min/seg]$$

$$Tiempo de residencia hidrúlico = 103.846 min$$

### **Volúmen captado**

volumen captado = tiempo de residencia \* gasto sugerido

$$[mL] = [seg] * [mL/seg]$$

$$[mL] = [6230.76 seg] * [0.0134 mL/seg]$$

$$volumen captado = 83.60 mL$$

### **Cálculo del filtro de pulimento (d = 0.60 mm)**

$$D = 1/2 \text{ in}$$

$$r = 0.00635 m$$

**Volúmen disponible en el filtro**

$$Vol. disponible = \pi * r^2 * L$$

$$[m^3] = [ ] * [m] * [m] * [m]$$

$$[m^3] = \pi * (0.00635 m)(0.00635 m) * 0.30 m$$

$$Vol. disponible = 3.80 \times 10^{-5} m^3$$

**Masa contenida en el filtro**

$$masa contenida en el filtro = (\rho_{real})(vol disponible sin material)$$

$$[kg] = \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * [m^3]$$

$$[kg] = \left( 2180 \frac{kg}{m^3}_{real} \right) * (3.80 \times 10^{-5} m^3)$$

$$masa contenida en el filtro = 0.0828 kg$$

**Volúmen necesario en el filtro**

$$vol. necesario en el filtro = (Vol. en el filtro sin material * porosidad)/100$$

$$[m^3] = [m^3] * [ ] / 100$$

$$[m^3] = (3.80 \times 10^{-5} m^3 * 0.4488) / 100$$

$$vol. necesario en el filtro = 1.672 \times 10^{-5} m^3$$

**Volúmen libre para el agua**

$$Vol. libre para el agua = Espacio libre para el agua * 1 \times 10^6$$

$$[m^3] = [mL] * 1 \times 10^6$$

$$[m^3] = 1.672 \times 10^{-5} [m^3] * 1 \times 10^6 \left[ \frac{mL}{m^3} \right]$$

$$Vol. libre para el agua = 16.721 mL$$

**Gasto calculado (Q)**

$$Q = volumen disponible para rellenar el filtro / tiempo de residencia necesario$$

$$[mL/seg] = [mL] / [seg]$$

$$[mL/seg] = (16.721 mL) / (5400 seg)$$

$$\therefore Q calculada = 3.09 \times 10^{-3} mL/seg$$

**Tiempo de residencia hidraulico  $\theta$**

$$Se retoma el gasto sugerido anteriormente para 1.30 m = 1.34 \times 10^{-2} mL/seg$$

$$Tiempo de residencia del agua = vol libre para el agua / gasto sugerido$$

$$[seg] = 16.721 mL / 1.34 \times 10^{-2} mL/seg$$

$$Tiempo de residencia del agua = 1246.15 seg$$

$$[seg] = 1246.15 seg / 60 min/seg$$

Tiempo de residencia hidraulico = 20.769 min

**Volúmen captado**

volumen captado = tiempo de residencia \* gasto sugerido

$$[mL] = [seg] * [mL/seg]$$

$$[mL] = [6230.76 \text{ seg}] * [0.0134 \text{ mL/seg}]$$

$$\text{volumen captado} = 16.720 \text{ mL}$$

**Características finales del filtro y operación**

Tipo de flujo = continuo

$$Q = 1.34 \times 10^{-2} \text{ mL/seg}$$

$$D = 1.27 \text{ cm}$$

**Longitud total del filtro**

$$\therefore \text{Longitud total del filtro} = Lc + fS + fp$$

Donde

$Lc$  = Longitud calculada

$fS$  = factor de seguridad

$fp$  = filtro de pulimento

$$[m] = [m] + [m] + [m]$$

$$\text{Longitud total del filtro} = 1.30 \text{ m} + 0.20 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Longitud total del filtro} = 1.80 \text{ m}$$

**Tiempo total de residencia**

Tiempo total de residencia =  $\theta$  en 1.50 m  $\theta$  en 0.30 m

$$[min] = [min] + [min]$$

$$\text{Tiempo total de residencia} = 103.84 \text{ min} + 20.76 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo total de residencia} = 124.60 \text{ min}$$

**Capacidad de tratamiento de operación**

Capacidad de tratamiento de operación =

$$1.34 \times 10^{-2} \text{ mL/seg} * \text{factor de conversión}$$

$$[mL/seg] = [seg/min] * [min/hora] * [hora/d] * [L/mL]$$

Capacidad de tratamiento de operación =

$$1.34 \times 10^{-2} \text{ mL/seg} * \text{factor de conversión} * (60 \text{ seg/1 min}) * (60 \text{ min/1 h}) * (24 \text{ h/1 d}) * (1 \text{ L/1000 mL})$$

$$\text{Capacidad de tratamiento de operación} = 1.17 \text{ L/d}$$

**Peso total del filtro**

Peso total del filtro = peso del filtro de 1.50 m + peso del filtro de 0.30 m

$$\text{Peso total del filtro} = [kg] + [kg]$$

$$\text{Peso total del filtro} = 0.414 \text{ kg} + 0.0828 \text{ kg}$$

*Peso total del filtro = 0.494 kg*

***Materia retenida***

Debido a que el agua llega previamente tratada la cantidad de sólidos esperados en el caudal es baja (7 mg/L). Dicho dato fue obtenido de la planta de tratamiento de agua residual "CU" y de un análisis previo realizado en la planta de "Tlacos", DF

Propiedades del agua

*densidad( $\rho$ )del agua = 1.07 kg /m<sup>3</sup>*

*Materia retenida = Q \* ss/ día*

$$[\text{kg/m}^3] = \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Materia retenida} = 0.007 \frac{\text{g}}{\text{L}} * 1.609 \frac{\text{L}}{\text{d}}$$

$$\text{Materia retenida} = 0.0011 \text{ g/d}$$

***Cinética de de degradación esperada***

$$\text{Cinética de de degradación} = K_{20^\circ}(1.06)(T_{\text{exp prom}} - 20)$$

$$K_{20^\circ} = 1.104/\text{día} \quad (\text{Obtenido de tablas})$$

$$\text{Cinética de degradación} = (1.104)(1.0609\text{mg})(30 - 20)$$

$$\text{Cinética de degradación} = 11.71\text{mg/d}$$

***Materia retenida (hh)***

$$\rho(\text{hh}) = \frac{1.07\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Masa de hh} = \rho(\text{hh}) * \text{Vol}$$

$$\text{Masa esperada} = 1.07 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1.609 \text{ L/día}$$

$$\text{Masa esperada} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \text{L} / \text{d}$$

$$\text{Masa esperada} = 1.72\text{mg/d}$$

***Masa total esperada***

*Masa total esperada*

$$= \text{Masa de hh} + \text{masa del caudal} - \text{masa promedio degradada}$$

$$\text{Masa total esperada} = \left[ \frac{\text{mg}}{\text{d}} \right] + \left[ \frac{\text{mg}}{\text{d}} \right] - \left[ \frac{\text{mg}}{\text{d}} \right]$$

$$\text{Masa total esperada} = 11.26 \frac{\text{mg}}{\text{d}} + 1.72 \frac{\text{mg}}{\text{d}} - 11.71 \frac{\text{mg}}{\text{d}}$$

*Masa total esperada (real) = 1.27 mg/L*

***Tiempo mínimo de saturación con sol experimental hh***

*Tiempo de visa por saturación = vulúmen libre disponible/masa total*

*degradación supuesta = 0%*

*Tiempo de saturación = [100000.32 mg]/[1.72mg/d]*

*Tiempo de saturación = 581139.7 días*

*Tiempo de saturación = 159.287 años*

***Tiempo mínimo de saturación con agua previamente tratada***

*Tiempo de visa por saturación = vulúmen libre disponible/masa total*

*degradación supuesta = 0%*

*Tiempo de saturación = [100000.32 mg]/[7.00mg/d]*

*Tiempo de saturación = 14285 días*

*Tiempo de saturación = 39.13 años*

***Sólidos totales retenidos hh***

*Sólidos totales retenidos = (Masa en tiempo de saturación) \* (t de saturación)*

*Sólidos totales retenidos =  $\frac{1.72\text{mg}}{\text{día}} * 581139.7 \text{ días}$*

*Sólidos totales retenidos = 999560 mg de hh*

*Sólidos totales retenidos = 999.560 g de hh*

***Sólidos totales retenidos de agua tratada***

*Sólidos totales retenidos = (Masa en tiempo de saturación) \* (t de saturación)*

*Sólidos totales retenidos =  $\frac{7.00 \text{ mg}}{\text{d}} * 14285 \text{ d}$*

*Sólidos totales retenidos = 99995 mg de hh*

*Sólidos totales retenidos = 999.95 g de hh*

**Tiempo mínimo de saturación con agua previamente tratada**

$$\text{Sólidos totales retenidos} = (\text{Masa en tiempo de saturación}) * (\text{t de saturación})$$

$$\text{Sólidos totales retenidos} = \frac{7.13 \text{ mg}}{d} * 14285 \text{ d}$$

$$\text{Sólidos totales retenidos} = 101853 \text{ mg de mat degradada}$$

$$\text{Sólidos totales retenidos} = 101.852 \text{ g de mat degradada}$$

**Concentación total de plata contenida en el filtro (1.80 m)**

$$\begin{aligned} \text{Concentación total de plata contenida en el filtro} \\ = \text{Peso del filtro} * \text{concentación de plata} \end{aligned}$$

$$\text{Concentación total de plata contenida en el filtro} = 0.494 \text{ kg} * \frac{123 \text{ mg}}{\text{kg}}$$

$$\text{Concentación total de plata contenida en el filtro} = 60.76 \text{ mg de Ag}$$

**Tiempo de agotamiento del filtro en función de la plata**

$$\text{Ecuación obtenida } Y = -0.0088x + 0.1355$$

$$R^2 = 0.9882^{\frac{2b}{m}} = M$$

$$M = 0.0088 / 0.1355$$

$$M = 15.3977$$

$$\frac{C_e}{x} = \left( \frac{1}{km} \right) + \left( \frac{C_e}{M} \right)$$

$K = \text{constante de langmuir}$

$$\frac{1}{M} = 0.649$$

$$k = \frac{1}{15.39 * 0.649}$$

$$k = 0.100$$

Los datos para dicho calculo fueron obtenidos a partir de la disolución del AM en agua, para lo cual se empleó el contenido metálico de la plata 0.123 mg/Kg y la disolución al





mes, la cual no es detectable por el equipo empleado (Perkin-Elmer 4300 DV), por lo cual suponemos que es menor al límite de detección de 0.0178.

$$C_o = 0.123 \text{ mg de Ag/kg}$$

$$\text{masa} = 0.494 \text{ g}$$

$$C_o = 0.0016 \text{ mg de Ag/kg}$$

$$X = ((0.1 \text{ L}) \left( \frac{0.123 \text{ mg}}{\text{kg}} - \frac{0.0016 \text{ mg}}{\text{kg}} \right)) / (0.494 \text{ g} * 1000)$$

$$X = 0.000025$$

$$\text{Tiempo de agotamiento} = TA$$

$$TA = ((0.0000025)(15.3977)) / ((1.34 \times 10^2 * \left( 0.123 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \frac{0.0016 \text{ mg}}{2 \text{ L}} \right)))$$

$$TA = (0.2351)(365 \text{ d})$$

$$\text{Tiempo de agotamiento} = 85.81 \text{ años}$$

### **Capacidad máxima de tratamiento (por diseño)**

Se evaluó con la apertura completa de las válvulas reguladoras (flujo máximo).

### **Capacidad máxima de tratamiento por diseño**

$$Q \text{ medido (máximo)} = 1000 \text{ ml} / 38.2 \text{ min}$$

$$Q \text{ medido (máximo)} = 26.178 \frac{\text{ml}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$Q \text{ medido (máximo)} = 0.47 \text{ mL/seg}$$

$$\text{Capacidad máxima de tratamiento por diseño}$$

$$= \left( 0.47 \frac{\text{mL}}{\text{seg}} \right) * \frac{86.4 \text{ seg} * \text{min} * \text{hora} * \text{L}}{\text{min} * \text{hora} * \text{d} * \text{mL}}$$

$$\text{Capacidad máxima de tratamiento por diseño} = 40.608 \text{ L/d}$$

### **Masa esperada teórica (sin degradación)**

$$\rho \text{ (hh)} = \frac{1.07 \text{ mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Masa de hh} = \rho \text{ (hh)} * \text{Vol}$$

$$\text{Masa esperada} = 1.07 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 40.608 \text{ L/d}$$

$$\text{Masa esperada} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \text{L} / \text{d}$$

$$\text{Masa esperada} = 43.45 \text{ mg/d}$$



**Tiempo de saturación a capacidad máxima de operación teórica (sin degradación)**

Espacio disponible = 1000000g

Tiempo de saturación =  $(1000000\text{mg}) / (43.45 \frac{\text{mg}}{\text{d}})$

Tiempo de saturación = 2301.5 d

Tiempo de saturación = 6.30 años

### **Cinética de de degradación esperada**

Cinética de de degradación =  $K_{20^\circ}(1.06)(T_{\text{exp prom}} - 20)$

$K_{20^\circ} = 1.104/\text{día}$  (Obtenido de tablas)

Cinética de degradación =  $(1.104)(284.259\text{mg})(30 - 20)$

Cinética de degradación = 3138.22 mg/d

**Tiempo de agotamiento a capacidad máxima de operación**

$C_o = 0.123 \text{ mg de Ag/kg}$

masa = 0.494 g

$C_o = 0.0016 \text{ mg de Ag/kg}$

$X = ((40.608 \text{ L}) \left( \frac{0.123\text{mg}}{\text{kg}} - \frac{0.0016\text{mg}}{\text{kg}} \right)) / (0.494\text{g} * 1000)$

$X = 0.009979$

Tiempo de agotamiento = TA

$TA = ((0.009979)(15.3977)) / ((0.4363 * \left( 0.123 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \frac{0.0016 \text{ mg}}{2 \text{ L}} \right)))$

$TA = (0.18717)(365 \text{ d})$

Tiempo de agotamiento = 68.31 años

### **Costo de construcción filtro**

El material por sí solo no tiene un costo, ni tampoco ningún uso posterior, por ello dentro de la mina es retirado, acumulado, apilado y abandonado. Todo ello, debido a que el contenido metálico solo contiene trazas de plata y el costo de explotación es mayor a la cantidad de plata contenida.

El material me fue obsequiado, pero en caso de requerirla para algún uso se manejó un precio tentativo a negociar partiendo de \$250/ton por lo tanto:

1.80 m de tubería de PVC hidráulico de  $\frac{1}{2}$  in comercial (mayoreo) = \$7.56

Material de empaque = \$0.123

Malla de retención = \$0.10

Cinturón plástico = \$ 0.004

Costo total del filtro= \$7.78

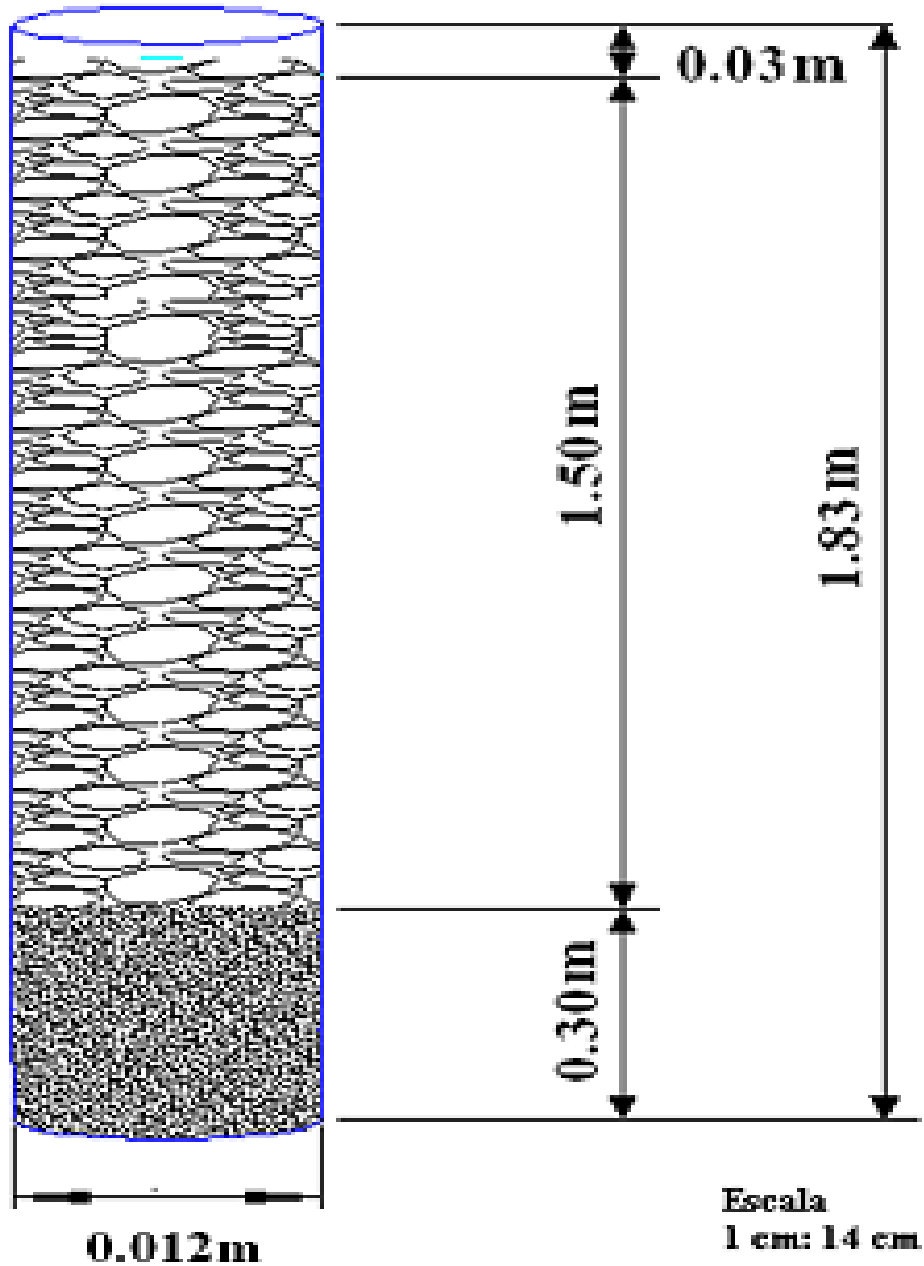


Figura 11-1. Vista y dimensiones a emplearse en el filtro desinfectante

## 12 ANEXO IV

### 12.1 Análisis estadístico

#### Importancia relativa de las especies elementales dentro del AM

Los resultados obtenidos para el material con en la prueba estadística de asociación no paramétrica de Olmstead-Tukey se señalan a continuación:

Elemento				
P	0.08368421	2	-0.07735648	III
Ti	0.19789474	1	0.296434244	III
Hg	0.26052632	1	0.415851598	I
Cu	0.37210526	3	0.570665813	III
V	0.41473684	1	0.617772617	III
As	0.60315789	3	0.780431017	III
Mg	0.71578947	7	0.854785307	II
K	0.96368421	9	0.983934743	II
C	1.97210526	2	1.294930092	IV
Al	2.30789474	15	1.363215997	I
Zn	3.09	6	1.489958479	I
S	4.02631579	7	1.604907834	I
Ag	12.3431579	5	2.091426285	iV
Si	8.32368421	16	1.920315595	I
Au	12.8284211	3	2.108173206	iV
O	14.1831579	6	2.151772938	I
Fe	15.3373684	17	2.18575085	I
Pb	19.7136842	6	2.294767795	I
Ca	0.07578947	6	-0.12039111	II
Discriminante eje X			1.201439307	
Discriminante eje Y			5.90526316	

#### Efecto en la pérdida de viabilidad de *T. canis*

Se efectuó un análisis de ANOVA de Fisher con el objeto de saber si la plata en sus diferentes estados de oxidación ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) brinda un efecto de inactivación y un análisis estadístico de diferencia medias, el cual comprende la efectividad comparativa

entre los agentes empleados, porcentaje de pérdida de viabilidad, semejanza entre tratamientos y la comparación contra testigo ponderado.

$$gl= 2$$

PM ( $Ag^0$ ) = plata metálica

$AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ ) = nitrato de plata

AM2mm ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) =AM con granulometría 2 mm

AM2 ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) =AM con granulometría 0.6 mm

Testigo = 100% – viabilidad obtenida del lote

Intervalo de confianza= 95%

Variable dependiente = % de pérdida de viabilidad

Se determinaron cinco niveles de desinfección porcentual, los cuales obedecen a)

Viabilidad del lote; b),c) y d) se subdivide simplemente para establecer una diferencia entre ellas y e) Definición práctica empleada en ingeniería de eficiencia

- No hay efecto= 0-20.00% (A)
- Efecto ligero= 20.01-40.00 % (B)
- Efecto moderado= 40.01-60.00% (C)
- Efecto fuerte= 60.01-80.00%(D)
- Efecto muy fuerte= 80.01-100% (Definición práctica de eficiencia en ingeniería)(E)

Promedio de tratamientos 0.3597

30 min 0.01 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento	
			25.118	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.3200	-0.0397				2/B/2
$AgNO_3$	0.4000	0.0403				4/B/3
AM 2mm	0.3667	0.0070				3/B/1
AM2	0.5819	0.2222				5/C/4
Testigo	0.1300	-0.2297				1/A/5

30 min concentración 0.05 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4354

30 min 0.05 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			29.5669	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.35	-0.0854				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.49333333	0.0578				3/C/1
AM 2mm	0.56410256	0.1286				4/C/3
AM2	0.63974359	0.2043				5/D/4
Testigo	0.13	-0.3054				1/A/5

30 min concentración 0.10 g/L  
Promedio de tratamientos 0.3584

30 min 0.10 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			26.4678	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.37	-0.0284				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.43809524	0.0396				3/C/1
AM 2mm	0.46103896	0.06259				4/C/3
AM2	0.59307359	0.1946				5/C/4
Testigo	0.13	-0.2684				1/A/5

30 min concentración 0.50 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4180

30 min 0.50 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			28.7563	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.37	-0.0480				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.58666667	0.1686				4/C/3
AM 2mm	0.3802005	-0.0378				3/B/1
AM2	0.62330827	0.2052				5/D/4
Testigo	0.13	-0.2880				1/A/5

30 min concentración 1.00 g/L

Promedio de tratamientos 0.4553

30 min 1.00 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			31.8590	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.37	-0.0853				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.61333333	0.1579				5/D/3
AM 2mm	0.46814297	0.0127				3/C/1
AM2	0.6954157	0.2400				4/D/4
Testigo	0.13	-0.3253				1/A/5

30 min concentración 2 g/L

Promedio de tratamientos 0.4768

30 min 2 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			33.0836	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.3700	-0.1068				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.50666667	0.0297				3/C/1
AM 2mm	0.68888889	0.2120				4/D/3
AM2	0.68888889	0.2120				5/D/3
Testigo	0.1300	-0.3468				1/A/4

60 min concentración 0.01 g/L

Promedio de tratamientos 0.4148

30 min 0.01 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			27.2092	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.3700	-0.0384				2/B/1
AgNO <sub>3</sub>	0.4533	0.0449				3/C/2
AM 2mm	0.4556	0.0471				4/C/3
AM2	0.6333	0.2249				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.2784				1/A/5

60 min concentración 0.05 g/L

Promedio de tratamientos 0.4225

30 min 0.05 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			29.0525	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4000	-0.0225				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.4533	0.0308				3/C/3
AM 2mm	0.4912	0.0687				4/C/1
AM2	0.6380	0.2155				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.2925				1/A/5

60 min concentración 0.10 g/L

Promedio de tratamientos 0.3584

30 min 0.10 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			28.2403	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4200	0.0060				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.4724	0.0583				4/C/3
AM 2mm	0.4408	0.0268				3/C/2
AM2	0.6070	0.1930				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.2840				1/A/5

60 min concentración 0.50 g/L

Promedio de tratamientos 0.4180

30 min 0.50 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			32.1632	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4200	-0.0510				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6133	0.1423				4/D/3
AM 2mm	0.5500	0.0790				3/C/2
AM2	0.6417	0.1707				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.3410				1/A/5



60 min concentración 1.00 g/L

Promedio de tratamientos 0.4553

30 min 1.00 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			37.9932	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.42	-0.114				2/C/2
AgNO <sub>3</sub>	0.5866667	0.0526				3/C/1
AM 2mm	0.7041667	0.1701				4/D/3
AM2	0.8291667	0.2951				5/E/4
Testigo	0.13	-0.4040				1/A/5

60 min concentración 2 g/L

Promedio de tratamientos 0.4768

30 min 2 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			37.16617	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4200	-0.1033				2/C/2
AgNO <sub>3</sub>	0.5333	0.0100				3/C/1
AM 2mm	0.7042	0.1808				4/D/3
AM2	0.8292	0.3058				5/E/4
Testigo	0.1300	-0.3933				1/A/5

90 min concentración 0.01 g/L

Promedio de tratamientos 0.4084

30 min 0.01 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			30.0297	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4000	-0.0468				2/B/2
AgNO <sub>3</sub>	0.4563	0.0095				3/C/1
AM 2mm	0.5929	0.1461				4/C/3
AM2	0.6547	0.2079				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.3168				1/A/5

90 min concentración 0.05 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4980

30 min 0.05 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			34.0516	8.19		Se rechaza $H_0$
PM	0.4700	-0.0280				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5268	0.0289				3/C/2
AM 2mm	0.6815	0.1835				4/D/3
AM2	0.6815	0.1835				4/D/3
Testigo	0.1300	-0.3680				1/A/4

90 min concentración 0.10 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5133

30 min 0.10 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			35.1128	8.19		Se rechaza $H_0$
PM	0.4700	-0.0433				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6133	0.1000				3/D/2
AM 2mm	0.6767	0.1633				4/D/3
AM2	0.6767	0.1633				4/D/3
Testigo	0.1300	-0.3833				1/A/4

90 min concentración 0.50 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5072

30 min 0.50 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			34.7245	8.19		Se rechaza $H_0$
PM	0.4700	-0.0373				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5867	0.0793				3/C/2
AM 2mm	0.6750	0.1677				4/D/3
AM2	0.6750	0.1677				4/D/3
Testigo	0.1300	-0.3773				1/A/4

90 min concentración 1.00 g/L

Promedio de tratamientos 0.5817

30 min 1.00 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			40.2961	8.19		
PM	0.4700	-0.0917				2/C/2
AgNO <sub>3</sub>	0.6000	0.0383				3/C/1
AM 2mm	0.7709	0.2092				4/D/3
AM2	0.8376	0.2759				5/E/4
Testigo	0.1300	-0.4317				1/A/5

90 min concentración 2 g/L

Promedio de tratamientos 0.4768

30 min 2 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			42.5292	8.19		
PM	0.4700	-0.0917				2/C/2
AgNO <sub>3</sub>	0.6000	0.0383				3/C/1
AM 2mm	0.8068	0.2450				4/E/3
AM2	0.9188	0.3571				5/E/4
Testigo	0.1300	-0.4317				1/A/5

120 min concentración 0.01 g/L

Promedio de tratamientos 0.4782

30 min 0.01 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			35.7571	8.19		
PM	0.4200	-0.0582				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5547	0.0765				3/C/2
AM 2mm	0.5929	0.1147				4/C/3
AM2	0.6933	0.2152				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.3482				1/A/5

120 min concentración 0.05 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4980

30 min 0.05 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			41.7419	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4700	-0.0212				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5360	0.0448				3/C/2
AM 2mm	0.6500	0.1588				4/D/3
AM2	0.6700	0.1788				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.3612				1/A/5

120 min concentración 0.10 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5133

30 min 0.10 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			38.1691	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.5500	-0.0029				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6267	0.0737				3/D/2
AM 2mm	0.6747	0.1217				4/D/3
AM2	0.7833	0.2304				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.4229				1/A/5

120 min concentración 0.50 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5632

30 min 0.50 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			39.2005	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.5500	-0.0132				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6293	0.0661				3/D/2
AM 2mm	0.7167	0.1535				4/D/3
AM2	0.7900	0.2268				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.4332				1/A/5

120 min concentración 1.00 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5909

30 min 1.00 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			41.8624	8.19		
PM	0.5500	-0.0409				Se rechaza $H_0$
AgNO <sub>3</sub>	0.6480	0.0571				2/C/1
AM 2mm	0.7833	0.1924				3/D/2
AM2	0.8433	0.2524				4/D/3
Testigo	0.1300	-0.4609				5/E/4
						1/A/5

120 min concentración 2 g/L  
Promedio de tratamientos 0.6113

30 min 2 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			44.0541	8.19		
PM	0.5500	-0.0613				Se rechaza $H_0$
AgNO <sub>3</sub>	0.6533	0.0420				2/C/2
AM 2mm	0.8100	0.1987				3/D/1
AM2	0.9133	0.3020				4/E/3
Testigo	0.1300	-0.4813				5/E/4
						1/A/5

150 min concentración 0.01 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4771

30 min 0.01 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			35.4672	8.19		
PM	0.4300	-0.0441				Se rechaza $H_0$
AgNO <sub>3</sub>	0.5440	0.0699				2/C/1
AM 2mm	0.5867	0.1125				3/C/2
AM2	0.6800	0.2059				4/C/3
Testigo	0.1300	-0.3441				5/D/4
						1/A/5

150 min concentración 0.05 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4968

30 min 0.05 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento
			33.7314	8.19	Se rechaza $H_0$
PM	0.4800	-0.0168			
AgNO <sub>3</sub>	0.5440	0.0472			
AM 2mm	0.6500	0.1532			
AM2	0.6800	0.1832			
Testigo	0.1300	-0.3668			
			2/C/1		
			3/C/1		
			4/D/3		
			5/D/4		
			1/A/5		

150 min concentración 0.10 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5112

30 min 0.10 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento
			38.1270	8.19	Se rechaza $H_0$
PM	0.5500	-0.0012			
AgNO <sub>3</sub>	0.6160	0.0648			
AM 2mm	0.6900	0.1388			
AM2	0.7700	0.2188			
Testigo	0.1300	-0.4212			
			2/C/1		
			3/D/2		
			4/D/3		
			5/D/4		
			1/A/5		

150 min concentración 0.50 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5447

30 min 0.50 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento
			37.5865	8.19	Se rechaza $H_0$
PM	0.5500	0.0053			
AgNO <sub>3</sub>	0.5867	0.0420			
AM 2mm	0.7233	0.1787			
AM2	0.7333	0.1887			
Testigo	0.1300	-0.4147			
			2/C/1		
			3/C/2		
			4/D/3		
			5/D/4		
			1/A/5		

150 min concentración 1.00 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5899

30 min 1.00 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			41.6653	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.5500	-0.0399				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6560	0.0661				3/D/2
AM 2mm	0.8000	0.2101				4/D/3
AM2	0.8133	0.2235				5/E/4
Testigo	0.1300	-0.4599				1/A/5

150 min concentración 2 g/L  
Promedio de tratamientos 0.6160

30 min 2 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			44.5572	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.5500	-0.0660				2/C/2
AgNO <sub>3</sub>	0.6533	0.0373				3/D/1
AM 2mm	0.8233	0.2073				4/E/3
AM2	0.9233	0.3073				5/E/4
Testigo	0.1300	-0.4860				1/A/5

180 min concentración 0.01 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4568

30 min 0.01 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			33.7563	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.4300	-0.0268				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5307	0.0739				3/C/2
AM 2mm	0.5967	0.1399				4/C/3
AM2	0.5967	0.1399				4/C/3
Testigo	0.1300	-0.3268				1/A/4

180 min concentración 0.05 g/L  
Promedio de tratamientos 0.4968

30 min 0.05 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			33.2870	8.19	Se rechaza H <sub>0</sub>	
PM	0.4900	-0.0168				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5253	0.0472				3/C/2
AM 2mm	0.6567	0.1532				4/D/3
AM2	0.6567	0.1832				5/D/4
Testigo	0.1300	-0.3668				1/A/5

180 min concentración 0.10 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5547

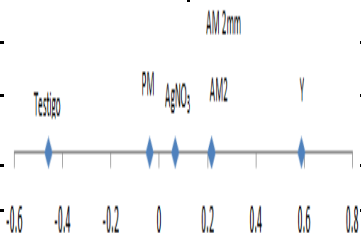
30 min 0.10 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			35.8271	8.19	Se rechaza H <sub>0</sub>	
PM	0.5500	0.0257				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5547	0.0304				3/C/2
AM 2mm	0.6933	0.1691				4/D/3
AM2	0.6933	0.1691				4/D/4
Testigo	0.1300	-0.3943				1/A/5

180 min concentración 0.50 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5413

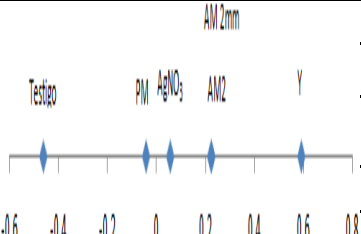
30 min 0.50 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			37.2689	8.19	Se rechaza H <sub>0</sub>	
PM	0.5500	0.0087				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.5867	0.0453				3/C/2
AM 2mm	0.7200	0.1787				4/D/3
AM2	0.7200	0.1787				4/D/4
Testigo	0.1300	-0.4113				1/A/5



180 min concentración 1.00 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5899

30 min 1.00 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			41.1661	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.5500	-0.0399				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6560	0.0661				3/D/2
AM 2mm	0.8067	0.2168				4/E/3
AM2	0.8067	0.2168				4/E/3
Testigo	0.1300	-0.4599				1/A/4

180 min concentración 2 g/L  
Promedio de tratamientos 0.5924

30 min 2 g/L	Y de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/Observación /Semejanza del tratamiento	
			41.1960	8.19	Se rechaza $H_0$	
PM	0.5500	-0.0424				2/C/1
AgNO <sub>3</sub>	0.6489	0.0564				3/D/2
AM 2mm	0.8167	0.2242				4/E/3
AM2	0.8167	0.2242				4/E/4
Testigo	0.1300	-0.4624				1/A/5

**Determinación del tiempo de contacto y concentración.**

Para la determinación del tiempo de contacto necesario para generar la pérdida de viabilidad buscada y la determinación a emplearse se llevaron a cabo pruebas de ANOVA para establecer una diferencia entre las diferentes concentraciones y tiempos de contacto evaluados, para lo cual se plantearon

$H_0$ = No existe diferencia entre los tratamientos de contacto

$H_1$ = Si existe diferencia entre los tratamientos

Donde:

gl= 2

AM2 =AM con granulometría 2 mm

AM0 =AM con granulometría 0.6 mm

Intervalo de confianza= 95

90 min 1.00 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			1.6684	6.94	Se Acepta $H_0$
AM 2mm	0.7709	-0.0739			
AM2	0.9188	0.0739			

120 min 1.00 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			0.8937	6.94	Se Acepta $H_0$
AM 2mm	0.7833	-0.0300			
AM2	0.8433	0.0300			

150 min 1.00 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			1.5533	6.94	Se Acepta H <sub>0</sub>
AM 2mm	0.8000	-0.0067			
AM2	0.8133	0.0067			

180 min 1.00 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			1.5533	6.94	Se Acepta H <sub>0</sub>
AM 2mm	0.8067	0.0000			
AM2	0.8067	0.0000			

90 min 2 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			1.6684	6.94	Se Acepta H <sub>0</sub>
AM 2mm	0.8068	-0.0560			
AM2	0.9188	0.0560			

120 min 2 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			0.9102	6.94	Se Acepta H <sub>0</sub>
AM 2mm	0.7833	-0.0650			
AM2	0.9133	0.0650			

150 min 2 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			1.7090	6.94	Se Acepta H <sub>0</sub>
AM 2mm	0.8000	-0.0500			
AM2	0.8133	0.0500			

180 min 2 g/L	Promedio de cada tratamiento	Diferencia de medias	F0	F tablas	Efectividad comparativa/ Observación /Semejanza del tratamiento
			1.5766	6.94	Se Acepta H <sub>0</sub>
AM 2mm	0.8167	0.0000			
AM2	0.8167	0.0000			

### 13 ANEXO V

#### 13.1 Memoria fotográfica y pruebas adicionales















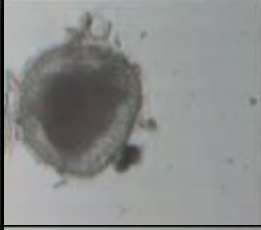









	0.01 g/L	0.05 g/L	0.10 g/L	0.50 g/L	1.00 g/L	2 g/L
30						
60						
90						
120						

Figura 13-1. Efecto progresivo experimentado en los huevos de *T. canis* con plata metálica (MO)

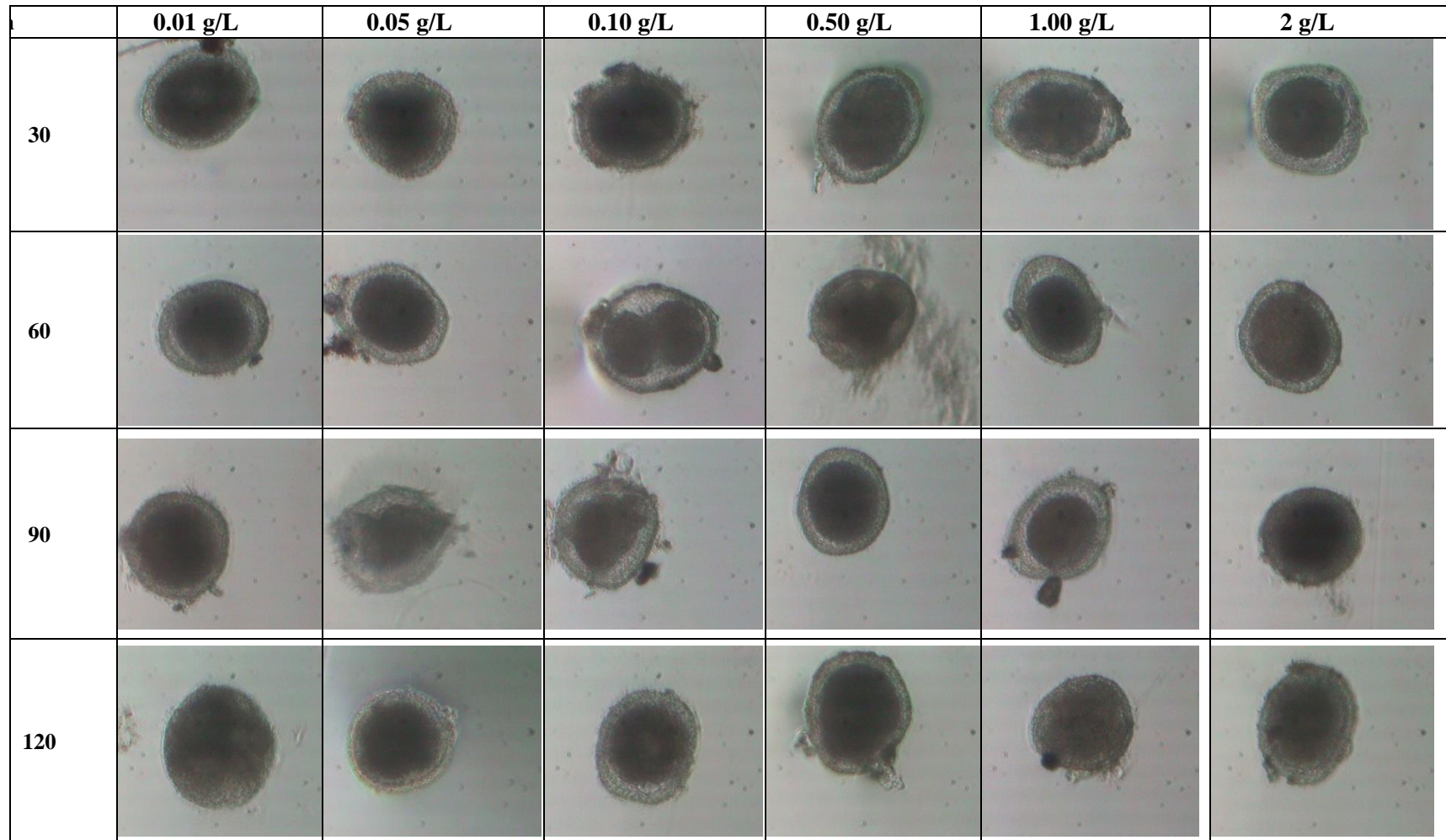


Figura 13-2. Efecto progresivo experimentado en los huevos de *T. canis* con AgNO<sub>3</sub> (MO)

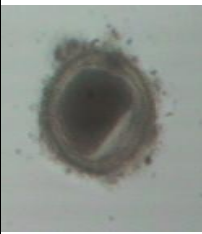

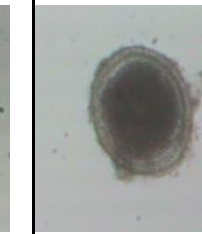
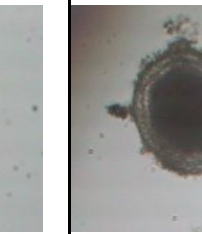
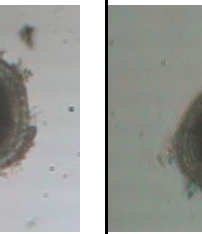
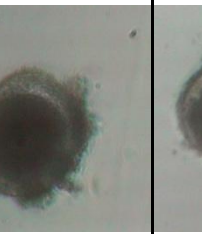
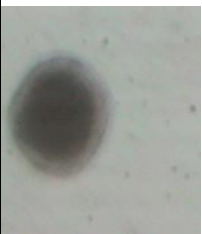

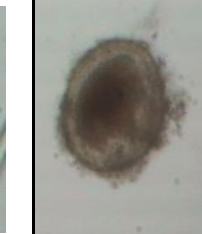
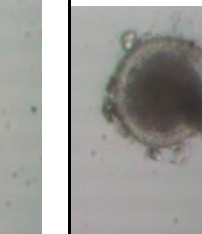
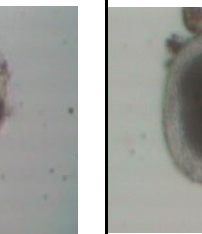
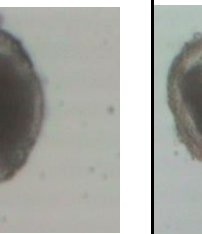
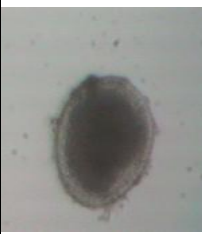

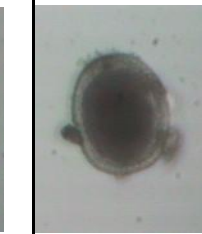
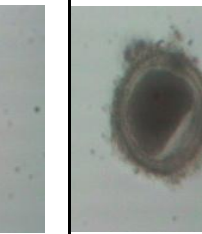
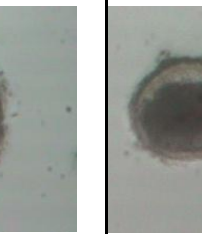
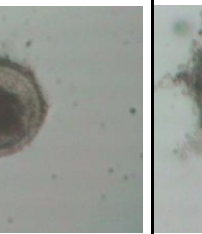
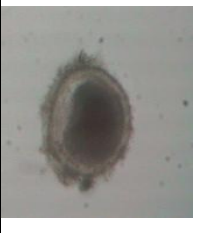


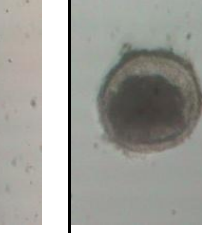
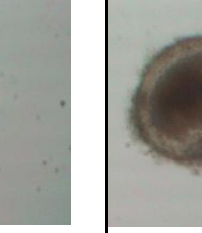
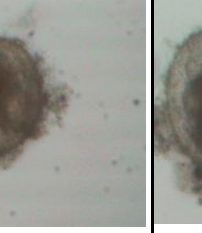
Min	0.01 g/L	0.05 g/L	0.10 g/L	0.50 g/L	1.00 g/L	2 g/L
30						
60						
90						
120						

Figura 13-3. Efecto progresivo experimentado en los huevos de *T. canis* con AM 2 mm (MO)

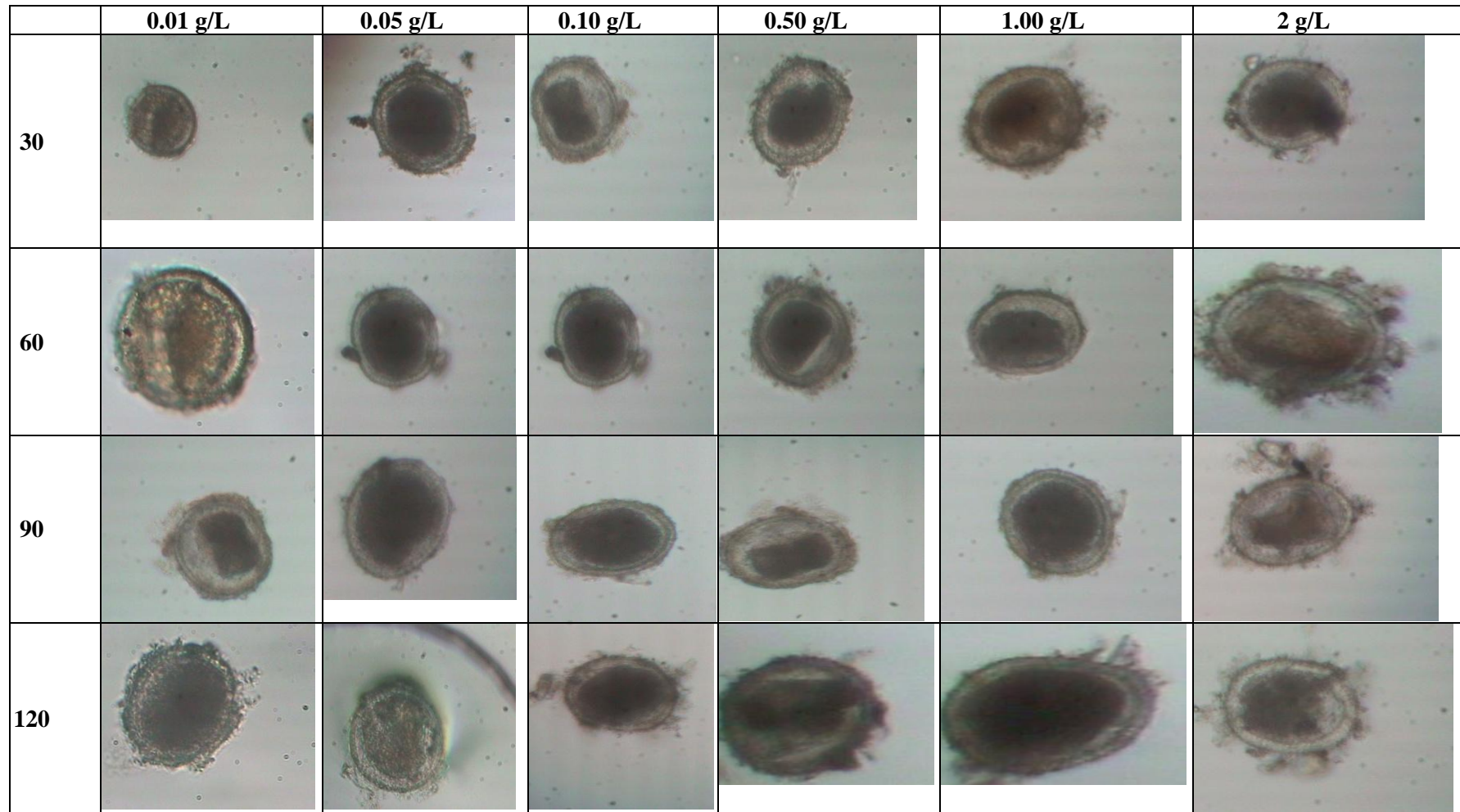


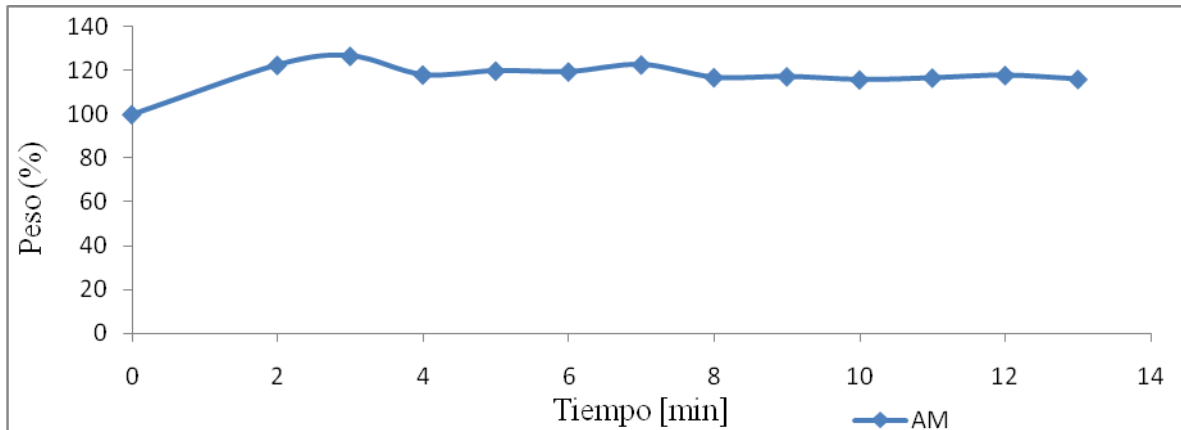
Figura 13-4. Efecto progresivo experimentado en los huevos de *T. canis* con AM 0.6 m (MO)



**Pruebas adicionales en los sistemas filtrantes**

**Mojado**

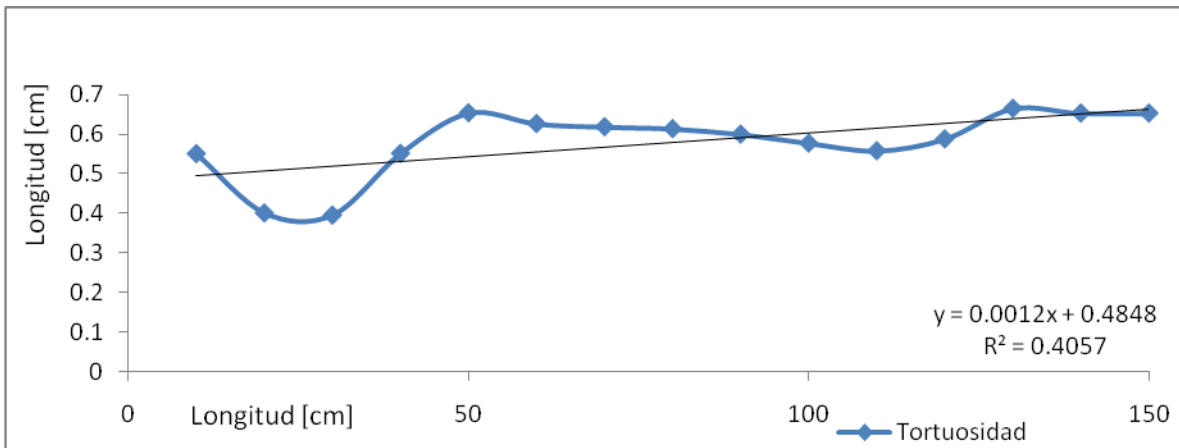
En la Figura 13-5 se muestra para conocer el tiempo en que se tiene se llega a su estado mínimo de estabilización en cuestión de absorción-desorción de líquido a filtrar. Se encontró que es de un 17.54% y se logra a partir de los cinco minutos, pero dicho valor se obtiene a los 10 min.



**Figura 13-5. Curva de mojado para el AM**

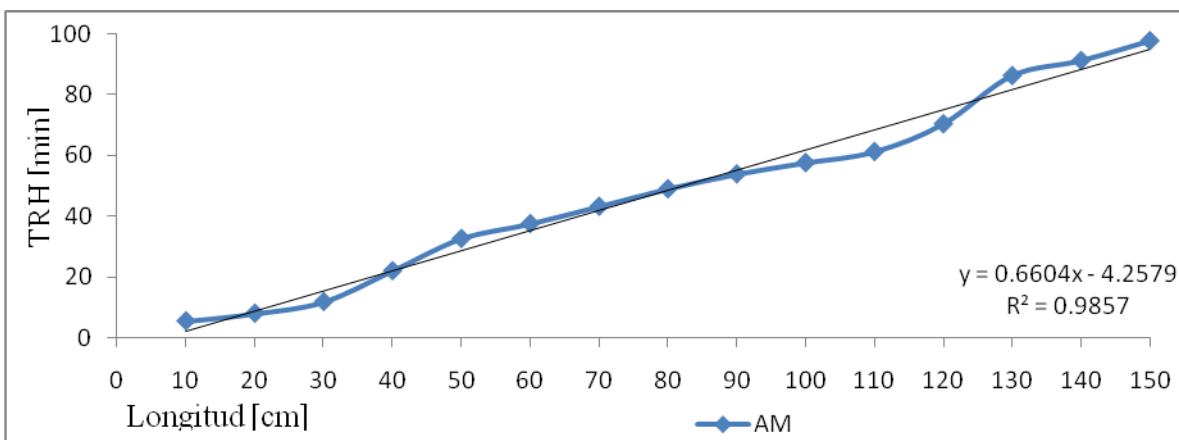
**Avance promedio y tortuosidad**

Es importante conocerla, debido a que se los filtros empleados carecen de pendiente, así como que para el cálculo .En la prueba realizada en los sistemas filtrantes empleando AM 2 se registraron para las diferentes longitudes (10-150 cm) 0.55, 0.40, 0.39, 0.55, 0.65 0.62, 0.61, 0.61, 0.59, 0.57, 0.55, 0.58, 0.66, 0.65 y 0.65 cm/min. Se efectuó un análisis de regresión, donde el que arrojó el mayor valor de R2 fue el lineal con 0.4057 como se señala en la Figura 13-6.



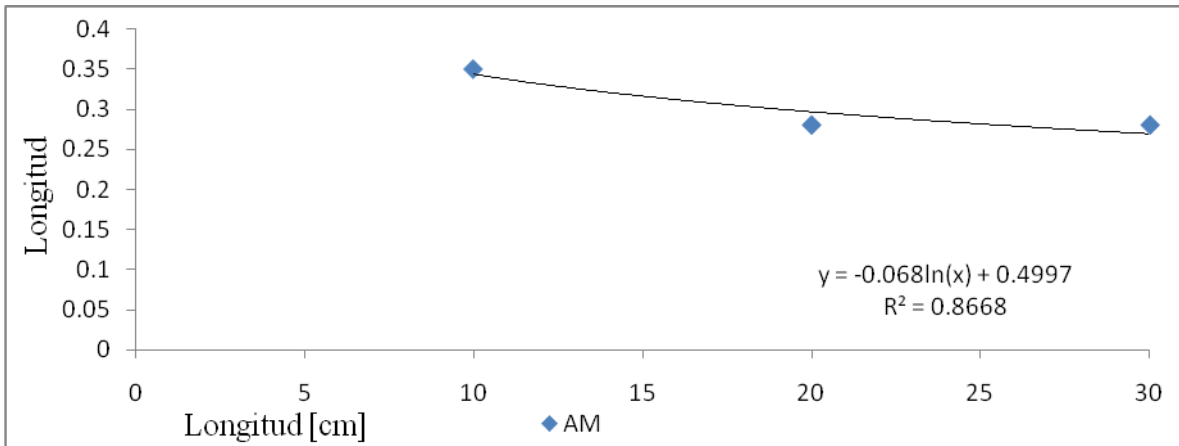
**Figura 13-6. Avance promedio en AM 2 mm**

En lo correspondiente a la tortuosidad se registraron 55.00, 80.02, 118.44, 220.25, 326.50, 375.50, 432.42, 490.40, 539.20, 586.5, 613.00, 704.33, 663.42, 913.28, 978.33 cm en longitud total (Figura 13-7).



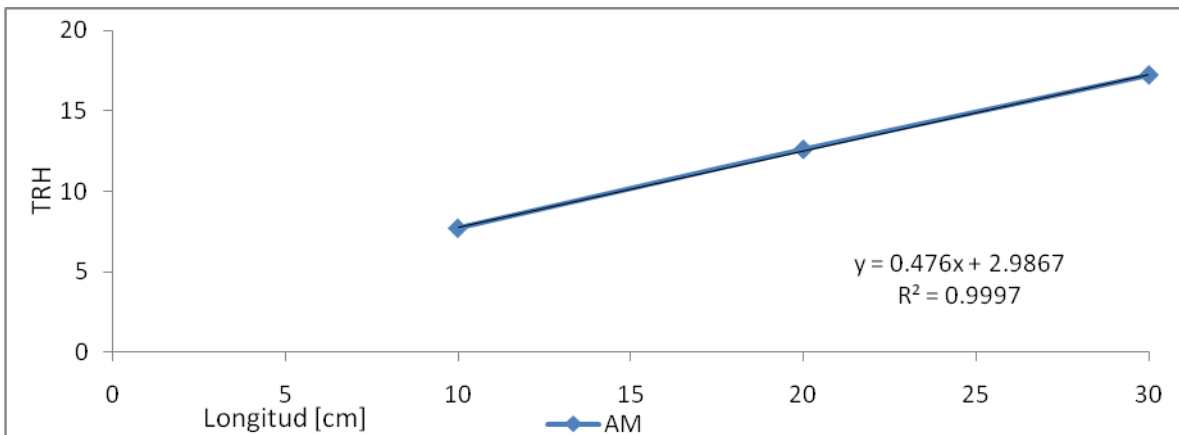
**Figura 13-7. Tortuosidad promedio en los msistemas filtrantes (10-150 cm) con AM 2 mm**

Para la prueba realizada en los sistemas filtrantes empleando AM 0.60 se registraron para las diferentes longitudes (10-30 cm) 0.35, 0.28 y 0.28 cm/min. El análisis de regresión aplicado señaló el mayor ajuste es de tipo logarítmico con una R2 de 0.8668 (Figura 13-8).



**Figura 13-8. Avance promedio en AM 0.60 mm**

En lo respectivo a la tortuosidad se obtuvieron valores de 7.7, 12.6 y 17.32 correspondiente a la tortuosidad se registraron 55.00, 80.02, 118.44, 220.25, 326.50, 375.50, 432.42, 490.40, 539.20, 586.5, 613.00, 704.33, 663.42, 913.28, 978.33 cm con un promedio de 485.77 cm por recorrido.



**Figura 13-9. Tortuosidad en los sistemas filtrantes (10-30 cm) empleando AM 0.6 mm**

En lo correspondiente a la tortuosidad para el mismo filtro empacado (AM 0.6 mm) se registraron 77.00, 126.00 y 178.00 cm en longitud total.

**Tabla 13-1. Análisis cuantitativo por zonas por MEB con detección de Rayos X (análisis multielemental). Tomado de Miranda (2005)**

Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Elementos	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C																	11.44	26.03	
O	50.18	17.94	40.05														57.47	71.52	32.32
Mg				2.13			2.27	0.54					2.71	1.25	2.86	1.84			
Al		0.31	0.11		1.73	11.26	3.82		1.01	0.57	5.13		6.74	5.15	4.69	6.79	6.05	1.23	1.15
Si		0.37	0.14		4.92	24.56	7.65	6.66	3.33	1.68		10.25	25.36	17.09	10.56	23.68	17.65	0.14	4.11
P																0.8			0.79
S	26.91		21.76				2.73		12.62	0.94	1.65	9.89							
K		0.68	0.32		0.56	2.66							3.10	1.91	0.76	0.91	7.41		
Ti									3.76										
V													7.88						
Fe	22.80	32.38	14.11	1.53	3.74	18.16	2.68	59.29	1.24	0.87	2.14	1.47	5.24	4.35	2.86	61.67			56.88
Cu				3.42				37.13	2.34										1.31
Zn				18.01	20.00			1.15					12.24			3.57			3.74
As					4.22	6.04					1.20								
Ag		49.54	23.56				80.57					79.31				1.54			
Au										95.83				69.86	78.05				
Hg											4.95								
Pb				75.17	64.82	36.07			75.39		84.94		38.17						
Suma	100	100	100	100	99.99	99.80	99.82	100	99.89	99.89	100	100	100	99.81	99.78	100	100	98.92	100

Energía de Haz=20 kv ;  $\alpha= 0.05 \%$

**Tabla 13-2. Capacidad de disolución del AM en agua (PAI-EEO). Tomado de Miranda 2005**

Elemento (mg/L)	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Pb
<b>Testigo</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Agregado mineral (mes uno)</b>	0.126		0.1037			
Elemento (mg/L)	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Pb

Los valores reportados como cero indican que el valor obtenido por el equipo empleado se encuentra por debajo del límite de la detección del equipo, o de lo contrario que éste es cero (Tabla 13-2). A continuación se señalan los límites de detección (LD) del equipo de la técnica y límites de cuantificación (LC) correspondientes a los elementos analizados Tabla 13-3

**Tabla 13-3 Límites de detección y cuantificación para (PAI-EEA). Tomado de Miranda (2005)**

Elemento (mg/L)	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Pb
<b>LD</b>	0.106	0.045	0.0937	0.0388	0.0178	0.0169
<b>LC</b>	0.3558	0.1554	0.3124	0.1294	0.0594	0.0563

## 14 ANEXO VI

### 14.1 Diagramas y nomogramas del sistema

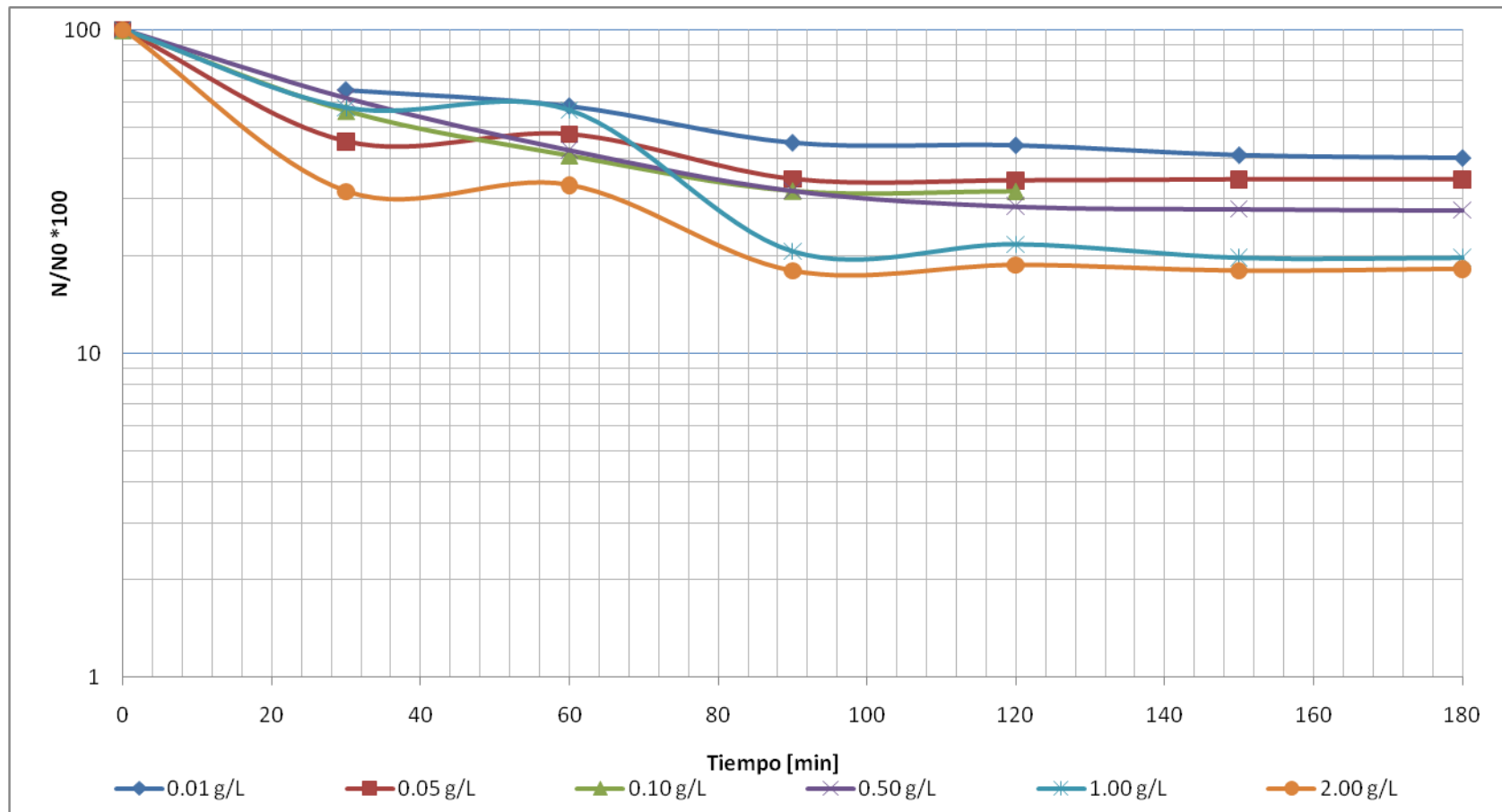


Figura 14-1. Nomograma de desinfección con AM 2 mm sin agitación (Temp= 20-25° C)

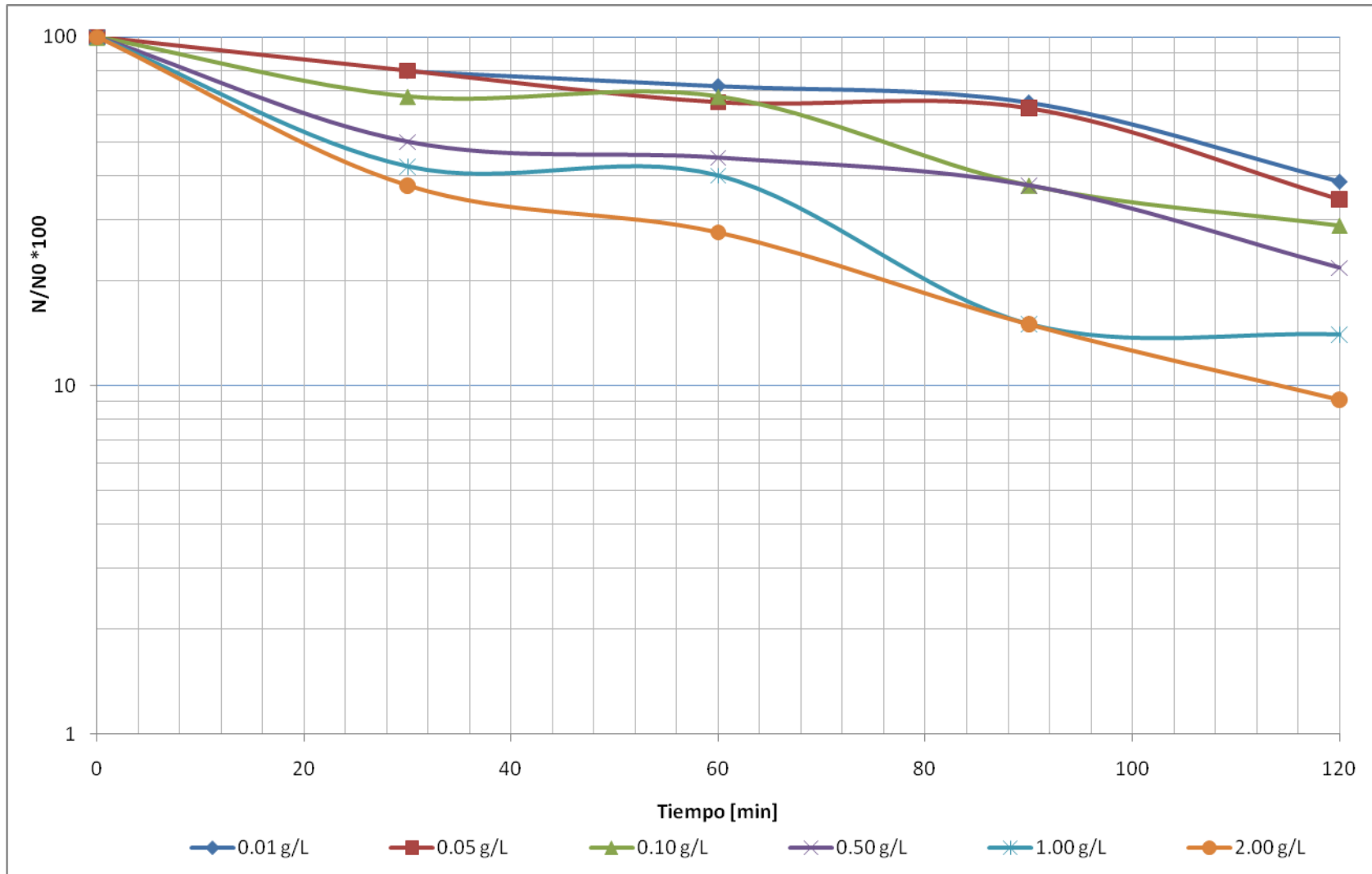


Figura 14-2. Nomograma de desinfección con AM 2 con agitación (Temp= 20-25° C)

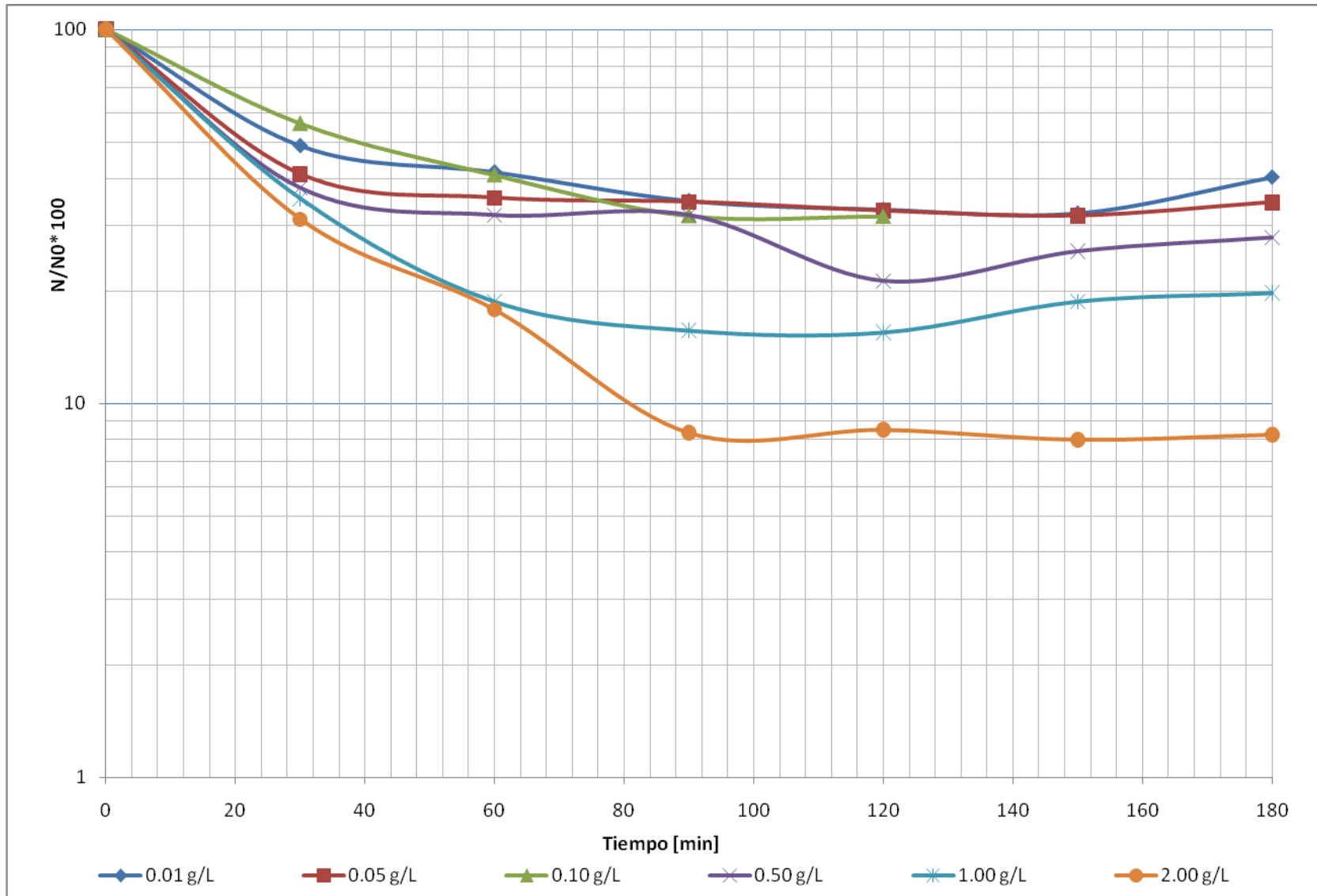


Figura 14-3. Nomograma de desinfección con AM 0.6 mm sin agitación (Temp= 20-25° C)



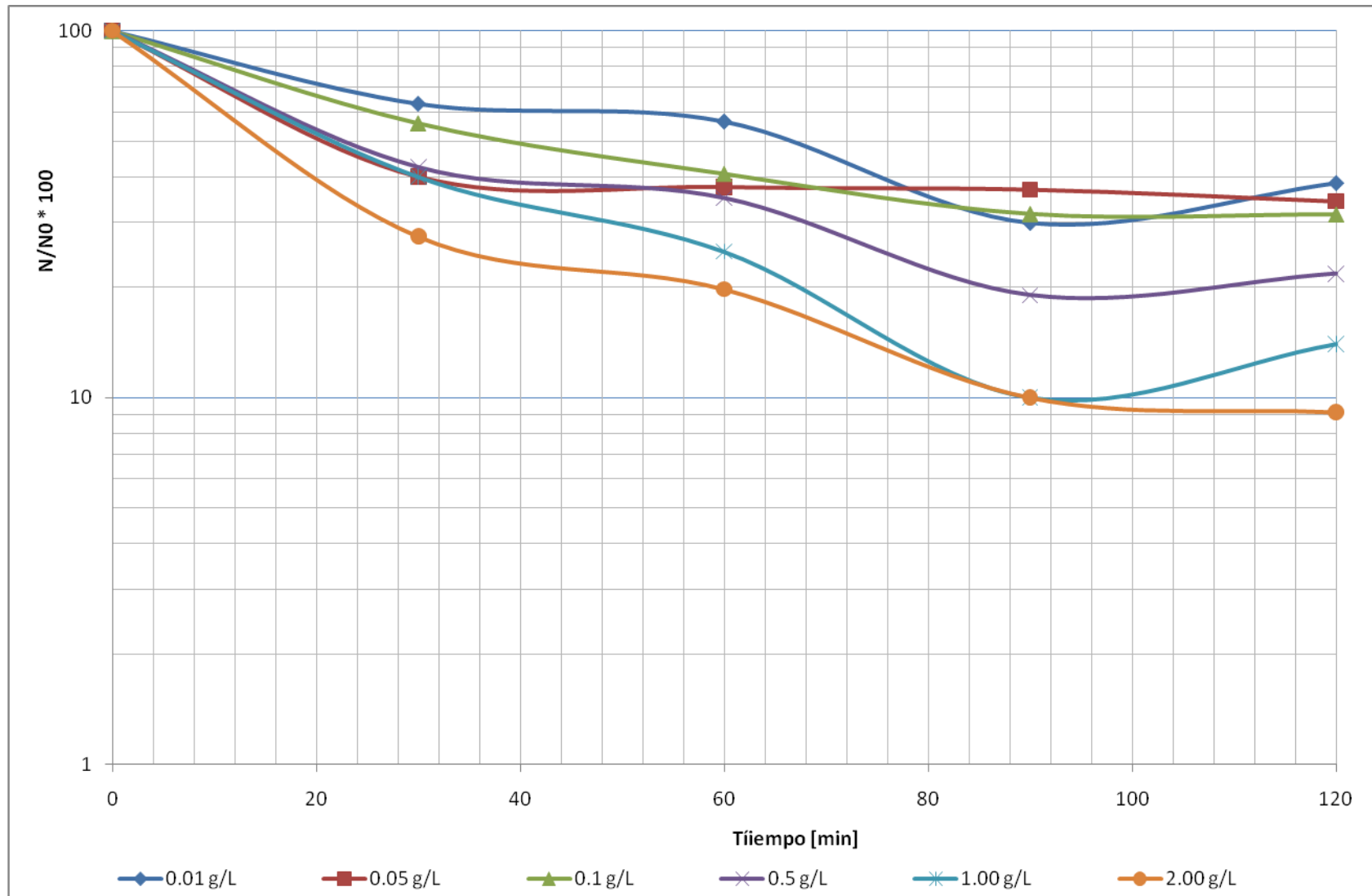


Figura 14-4. Nomograma de desinfección con AM 0.6 mm con agitación (T= 20-25° C)

Cálculo de las constantes de la ecuación de Chick y Watson- Chick

Donde

K = Constante de inactivación

m = Coeficiente específico de letalidad

R<sup>2</sup> = Coeficiente de correlación

<b>Prueba SA</b>	<b>Watson-Chick</b>	<b>Chick</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
AM 2 mm	-ln N/N <sub>0</sub> = mKt	-ln N/N <sub>0</sub> = Kt	
Concentración [g/L]	m	K	
0.01	0.039	0.0033	0.8707
0.05	0.043	0.0022	0.6502
0.1	0.043	0.0037	0.7326
0.5	0.042	0.0051	0.7996
1	0.044	0.0080	0.7253
2	0.049	0.0043	0.6686

<b>Prueba CA</b>	<b>Watson-Chick</b>	<b>Chick</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
AM 2 mm	-ln N/N <sub>0</sub> = mKt	-ln N/N <sub>0</sub> = Kt	
Concentración [g/L]	m	K	
0.01	0.046	0.2303	
0.05	0.047	0.2585	0.6502
0.1	0.050	0.3148	0.7326
0.5	0.054	0.2680	0.7996
1	0.060	0.4312	0.7253
2	0.063	0.4848	0.6686

<b>Prueba SA</b>	<b>Watson-Chick</b>	<b>Chick</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
AM 0.6 mm	-ln N/N <sub>0</sub> = mKt	-ln N/N <sub>0</sub> = Kt	
Concentración [g/L]	m	K	
0.01	0.043	0.0033	0.8707
0.05	0.044	0.0022	0.6502
0.1	0.045	0.0037	0.7326
0.5	0.046	0.0051	0.7996
1	0.050	0.0080	0.7253
2	0.052	0.0010	0.6686

<b>Prueba CA</b>	<b>Watson-Chick</b>	<b>Chick</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
AM 0.6 mm	$-\ln N/N_0 = mKt$	$-\ln N/N_0 = Kt$	
Concentración [g/L]	m	K	
0.01	0.051	0.2129	0.6321
0.05	0.056	0.0482	0.9517
0.1	0.053	0.2677	0.8385
0.5	0.059	0.2621	0.7838
1	0.063	0.4066	0.7292
2	0.068	0.3990	0.9317

<b>Prueba</b>	<b>Watson-Chick</b>	<b>Chick</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
AgNO <sub>3</sub>	$-\ln N/N_0 = mKt$	$-\ln N/N_0 = Kt$	
Concentración [g/L]	m	K	
0.01	0.039	0.0018	0.7614
0.05	0.040	0.0016	0.2884
0.1	0.041	0.0016	0.2896
0.5	0.043	0.0009	0.4788
1	0.044	0.0012	0.6875
2	0.042	0.0011	0.5855

<b>Prueba</b>	<b>Watson-Chick</b>	<b>Chick</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Ag <sup>0</sup>	$-\ln N/N_0 = mKt$	$-\ln N/N_0 = Kt$	
Concentración [g/L]	m	K	
0.01	0.032	0.001	1
0.05	0.037	0.002	0.9679
0.1	0.038	0.002	0.8999
0.5	0.039	0.003	0.9679
1	0.039	0.004	0.9702
2	0.039	0.004	0.9702

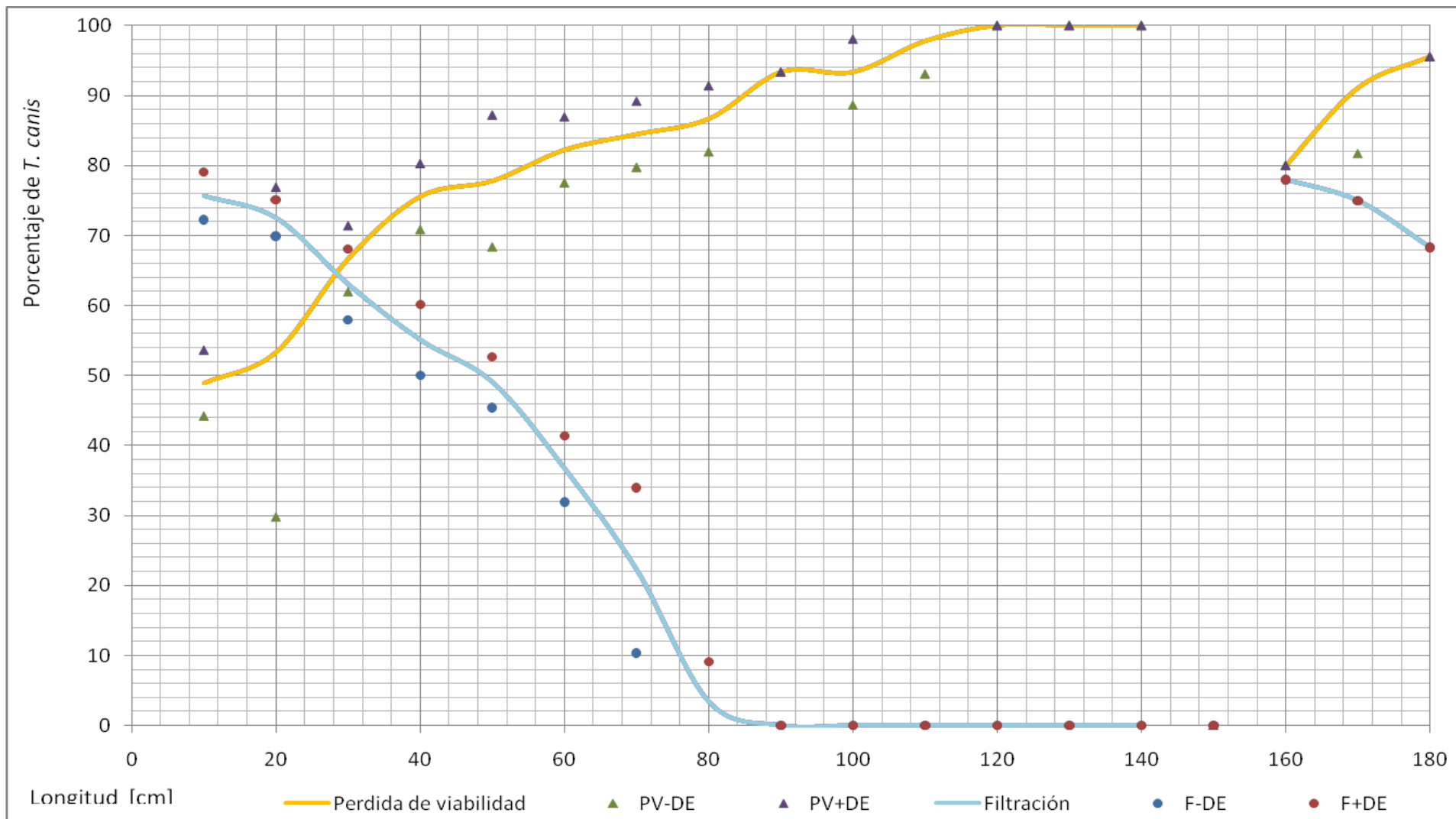


Figura 14-5. Curva de OD para AM 2 mm de 10-150 cm para AM 0.6 mm 150-180 cm para pérdida de viabilidad y filtración  
 Para Tmax = 10 días; Q= 0.082 mL/ seg; temp= 20-30 °C; Patm= 587 mm de Hg, PV= Pérdida de viabilidad; F= Filtración; DE= Desviación estándar.

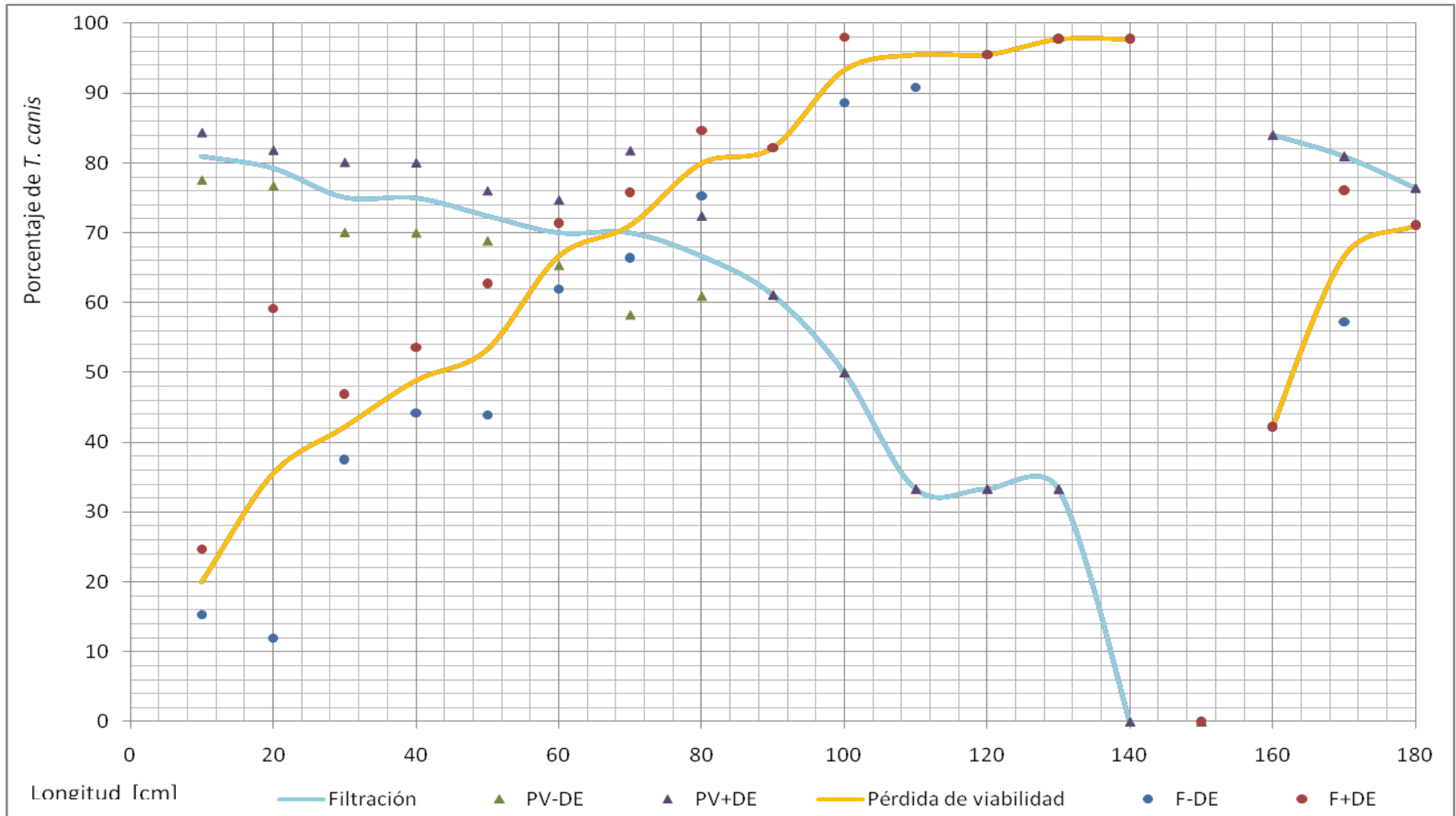
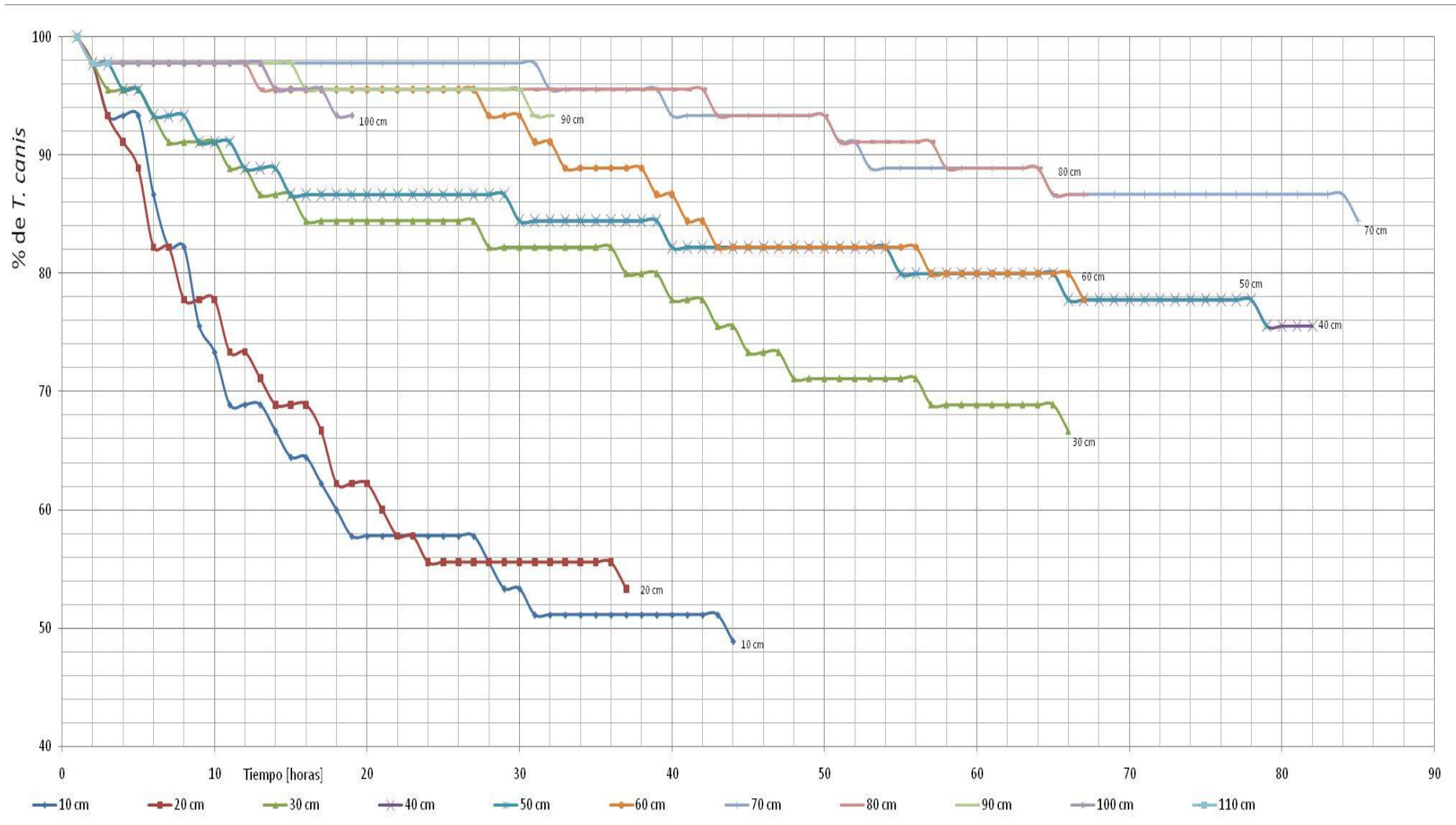
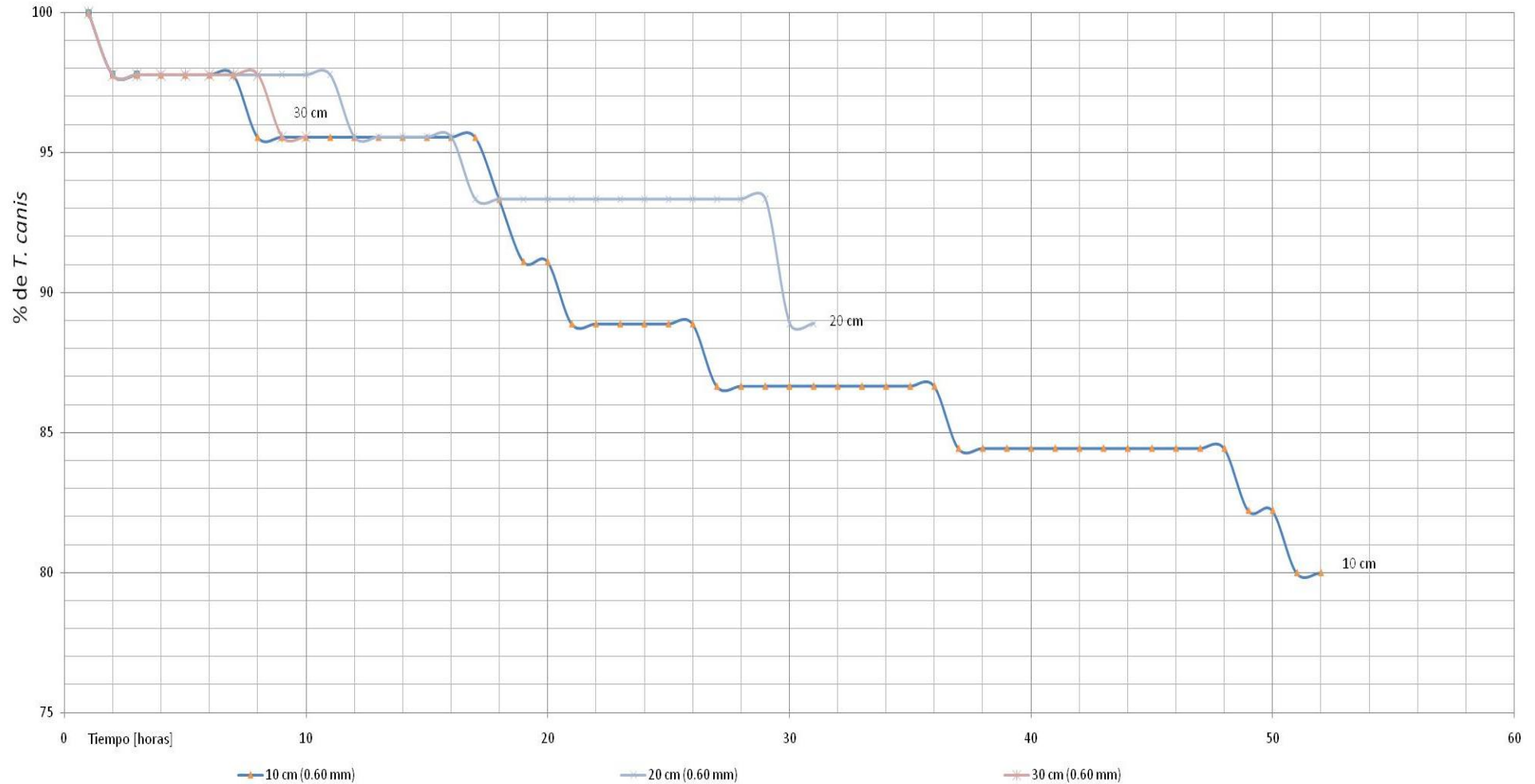


Figura 14-6. Curva de OM para AM 2 y 0.6 mm de 10-150 cm y AM de 150-180 cm para la pérdida de viabilidad y filtración  
 Para  $T_{max} = 10$  días;  $Q = 0.47$  mL/seg; temp= 20-30 °C;  $P_{atm} = 587$  mm de Hg, PV= Pérdida de viabilidad; F= Filtración; DE= Desviación estándar.

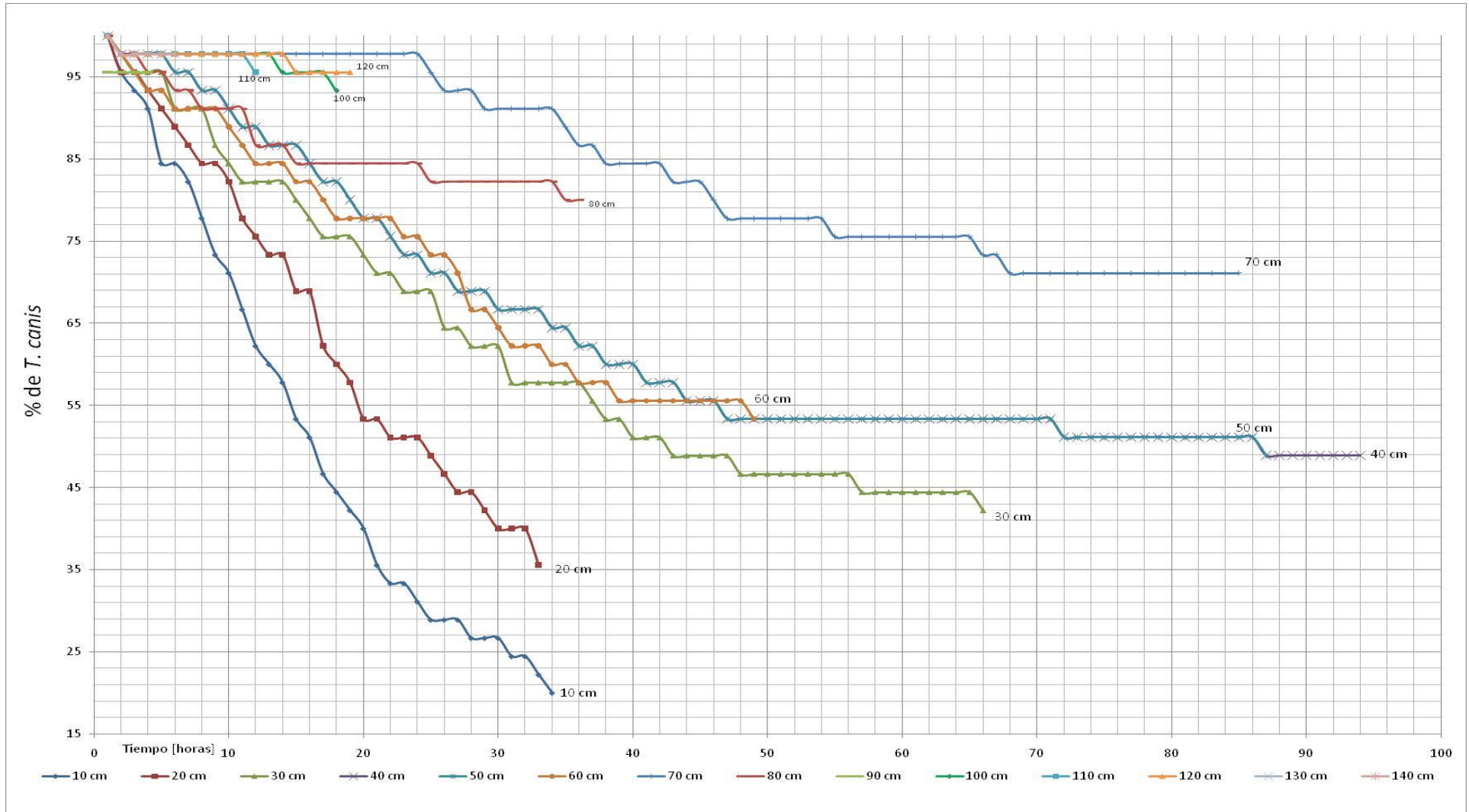


**Figura 14-7. Perfil de filtrado con respecto al tiempo de operación en OD**

Tiempo=0-240 h; Q= 0.04 L/h; temp= 20-30 °C; Patm= 587 mm de Hg, Valido para filtro con L de 10 hasta 150 cm (AM 2 mm).

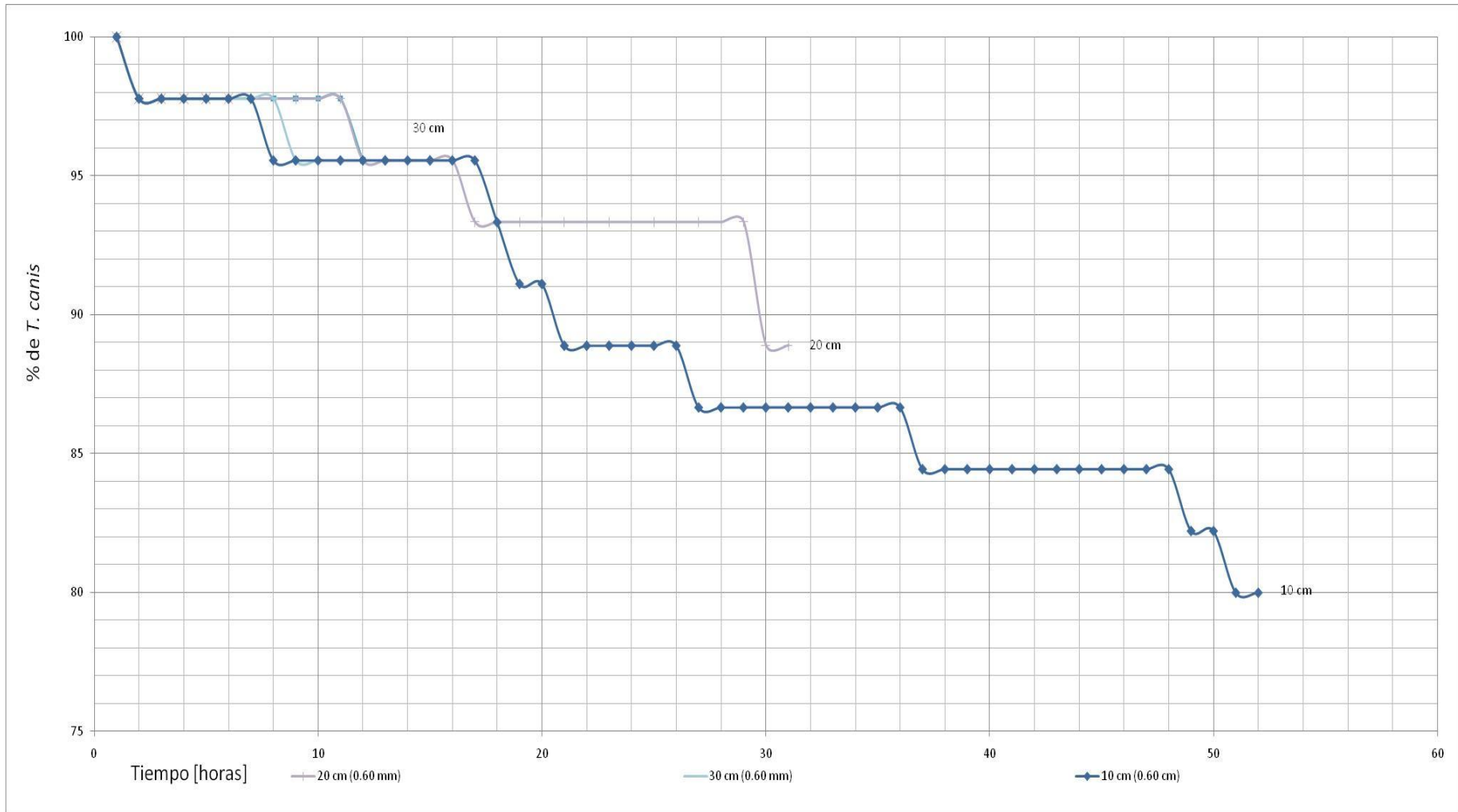


**Figura 14-8 Perfil de filtrado con respecto al tiempo de operación en OD**  
 Tiempo=0-240 h; Q= 0.04 L/h; temp= 20-30 °C; Patm= 587 mm de Hg, Valido para filtro con L de 10 cm hasta 30 cm (AM 0.60 mm)



**Figura 14-9. Perfil de filtrado con respecto al tiempo de operación en OM**  
 Tiempo=0-240 h; Q= Q= 0.47 mL/ seg; temp= 20-30 °C; Patm= 587 mm de Hg, Valido para filtro con L de hasta 150 cm empacado con AM 2 mm .





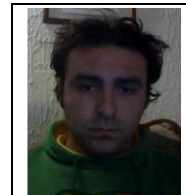
**Figura 14-10 Perfil de filtrado con respecto al tiempo en OM**

Tiempo=0-240 h; Q= 0.47 mL/ seg; temp= 20-30 °C; Patm= 587 mm de Hg, Valido para filtro con L de hasta 150 cm empacado con AM 2 mm y de 10-30 cm con AM 0.6 mm

## EFFECTO DE DIFERENTES ESTADOS DE OXIDACIÓN DE LA PLATA EN LA PERDIDA DE VIABILIDAD DE HUEVOS DE *Toxocara canis* (Werner, 1782)

*Effect of different silver oxidation states in the loss of viability of the ova of Toxocara canis*  
(Werner, 1782)

Magaña-López Rafael<sup>1</sup>  
Ramírez-Carrillo Héctor Faustino<sup>2</sup>  
Aburto-Castañeda Sergio<sup>3</sup>  
Segura-Miranda Juan Benjamín<sup>4</sup>  
Luna-Pabello Víctor Manuel<sup>5</sup>



**Dirección de contacto:** Circuito Interior s/n Laboratorio de Microbiología Experimental. Departamento de Biología, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria-Coyoacán- Distrito Federal- 04510- México Tel.:+52(01)5622-3763 – Fax: +52(01)5622-3763. e-mail: [lpvictor@servidor.unam.mx](mailto:lpvictor@servidor.unam.mx)

### Abstract

The conventional methods used for municipal wastewater disinfection have been less effective to eliminate the viability of helminth ova and the problem that these represent in public health, it is important to explore an alternative. One of them is the use of silver, which has demonstrated to be throughout history an effective disinfectant. The stable form of silver is  $Ag^0$  and  $Ag^{1+}$ , nevertheless another form has been obtained electrolytically or in the matrix of rocks, as its polyvalent form ( $Ag^{2+}$  and  $Ag^{3+}$ ) although, in an unstable form, but with bigger disinfectant capacity. Thus the use of metallic compound is a promising alternative, and as a result of it, the present work is focus to evaluate the effect of different silver compounds and a mineral aggregate (AM) with silver, all on the loss of viability of *T. canis* ova exposed directly at the oxidation states ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) at different concentrations and time. The tests were: colloidal commercial silver (3.50 g/L  $5 \times 10^{-5}$  (suggested dose) and 3.5 g/L at 50, 100, 150, 200, 250 and 300 min, metallic silver ( $Ag^0$ ) and silver nitrate ( $Ag^{1+}$ ) to 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 and 3.00 g/L at 30, 60, 90, 120, 150 min and AM ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  and  $Ag^{2+}$ ) with concentrations 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 and 2.00 g/L at 30, 60, 90, 120, 150 and 180 min, with three repetitions respectively. The obtained results show that the colloidal silver has no effect at  $5 \times 10^{-5}$ , nevertheless at 3.5 g/L was observed  $35.00 \pm 10.00\%$  at an exposure time of 180 min. The metallic silver registered at 0.01g/L with 30 min a percentage of inactivation of  $30.00 \pm 8.75\%$  obtaining a maximum inactivity since 0.50 g/L and 90 min with 55.00%, and for the  $AgNO_3$  was obtained for 0.01 g/L a 40.00% and the maximum inactivity since 2.00 g/L and 90 min with  $65.33 \pm 6.11\%$ . The AM offered a loss of viability of  $51.41 \pm 27.82.00\%$  when 0.01g/L and 30 min was employed, and more than 90% with 1.00 g/L since 90 min of exposure.

<sup>1</sup>Laboratorio de Microbiología Experimental, Facultad de Química, UNAM. Biólogo e Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Ciencias, UNAM y de la Facultad de Química, UNAM. Actualmente finaliza estudios de posgrado (Maestría en Ingeniería Ambiental) en el posgrado de Ingeniería de la UNAM. Se ha desempeñado en área ambiental desde el 2007 participando en proyectos de diseño y optimización de plantas de tratamiento de aguas residuales, humedales y desinfección de agua. [burropaplanchar@yahoo.com](mailto:burropaplanchar@yahoo.com)

<sup>2</sup> Laboratorio de Microbiología Experimental, Facultad de Química, UNAM.

<sup>3</sup> Laboratorio de Microbiología Experimental, Facultad de Química, UNAM.

<sup>4</sup> Laboratorio de Microbiología Experimental, Facultad de Química, UNAM.

<sup>5</sup> Laboratorio de Microbiología Experimental, Facultad de Química, UNAM.

## EFFECTO DE LOS DIFERENTES ESTADOS DE OXIDACIÓN DE LA PLATA EN LA PÉRDIDA DE VIABILIDAD DE HUEVOS DE *Toxocara canis* (Werner, 1782)

### Resumen

Debido a que los métodos convencionales empleados para la desinfección de aguas residuales municipales han sido poco efectivos para eliminar la viabilidad de los huevos de helminto y el problema que éstos representan en la salud pública es importante explorar alternativas. Una de ellas es el uso de plata, la cual ha demostrado ser a lo largo de la historia un desinfectante efectivo. La plata se encuentra de forma estable como  $\text{Ag}^0$  y  $\text{Ag}^{1+}$  sin embargo, se ha obtenido electrolíticamente o en la matriz de las rocas su forma polivalente como  $\text{Ag}^{2+}$  y  $\text{Ag}^{3+}$  aunque de forma inestable, pero con un mayor poder desinfectante. Por lo cual el uso de compuestos metálicos resulta una alternativa prometedora. Como consecuencia de ello, el presente trabajo se enfocó a evaluar el efecto de diferentes compuestos de plata y un agregado mineral (AM) procedente de una mina de plata, sobre la pérdida de viabilidad de huevos de *T. canis*, expuestos directamente a los estados de oxidación  $\text{Ag}^0$ ,  $\text{Ag}^{1+}$  y  $\text{Ag}^{2+}$  a diferentes concentraciones y tiempos de contacto. Los ensayos fueron: plata coloidal comercial (3.50 g/L) a una concentración de  $5 \times 10^{-5}$  g/L (dosis sugerida) y 3.5 g/L a 50, 100, 150, 200, 250 y 300 min, granalla de plata ( $\text{Ag}^0$ ) y nitrato de plata ( $\text{Ag}^{1+}$ ) a 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 y 3.00 g/L a 30, 60, 90, 120 y 150 min y un AM ( $\text{Ag}^0$ ,  $\text{Ag}^{1+}$  y  $\text{Ag}^{2+}$ ) con concentraciones 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 y 2.00 g/L a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min, con tres repeticiones, respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que la plata coloidal no afectó la viabilidad a una concentración de  $5 \times 10^{-5}$  g/L, sin embargo a 3.5 g/L se observó un  $35.00 \pm 10.00\%$  a un tiempo de exposición de 180 minutos. La granalla de plata registró a 30 min  $30.00 \pm 8.75\%$  a 0.01 g/L obteniendo una máxima inactivación a partir de 0.50 g/L y 90 min con  $55.00\%$ , para el  $\text{AgNO}_3$  se registró la mínima de 40% a 0.01 g/L y 30 min y a partir de 2.00 g/L a 90 min se obtuvo la máxima  $65.33 \pm 6.11\%$ . El AM presentó la pérdida de viabilidad mínima de  $51.14 \pm 27.82\%$  cuando se empleó 0.01 g/L a un tiempo de contacto de 30 min y más de 90%, con 1.00 g/L y desde de los 90 minutos de exposición.

**Palabras clave:** agregados minerales, desinfección, huevos de helminto, plata, *Toxocara canis*.

### Introducción

La WHO (2009) define como helmintiasis a la infestación por uno o más organismos de tipo gusanoide, desarrollados en un hospedero, donde los nemátodos, céstodos y tremátodos son los principales organismos responsables, provocando graves enfermedades con repercusiones socioeconómicas y de salud pública (UNESCO, 2009). En los países en vías de desarrollo se observa el mayor impacto, debido a que las condiciones de pobreza, carencia de servicios y limitada sanidad son comunes, alcanzando con ello índices de incidencia superiores al 90% (Bratton y Nesse, 1993; WHO, 2006). A nivel mundial se estima que cinco millones de personas lo presentan a niveles extremos (hiperhelmintiasis e hiperparasitosis, mientras que a nivel ligero y moderado (sin presentar sintomatología), entre 800 y 1100 millones (Jiménez, 2008; Vásquez-Garibay *et al.*, 2002; WHO, 2009).

Los agentes desinfectantes han sido ampliamente usados con resultados satisfactorios contra organismos con cierta permeabilidad e intercambio con el medio (bacterias, protozoarios y hongos), pero no lo han sido para los que presentan una menor o para estructuras de resistencia como quistes y huevos de helminto (Gross y Farrell-Poe, 2004). De hecho Rojas-Valencia y Orta de Velásquez (2009) mencionan, que los desinfectantes convencionales no son efectivos contra huevos de helminto y que además en la literatura no hay referencias de alguno que lo sea, por lo cual se han implementado diversas estrategias de acción, dentro de las cuales se encuentran: interrumpir el ciclo de vida, atacar a los diferentes estadios y evitar la dispersión de la fase infectiva, por mencionar algunas (Johnston *et al.*, 2009 y WHO, 2009). Pero todo ello siendo insuficiente, por lo cual se deben buscar nuevas alternativas desinfectantes que reúnan las propiedades adecuadas. Metcalf y Eddy (2004) señalan algunas: toxicidad, estabilidad, solubilidad, baja o nula interacción con el medio, no corrosivo, no colorante, de fácil disponibilidad, efectivo en bajas concentraciones, seguro al manejo y transportación y de fácil uso, como es el caso de la plata (Aguilar *et al.*, 2006).

De manera particular los huevos de *T. canis* constituyen un excelente modelo experimental, debido a que el ser humano no es hospedero definitivo, constituyen un problema de salud pública, son de fácil obtención y manejo, pero sobre todo su alta resistencia asociada a su conformación por tres capas de protección para soportar el estrés ambiental (De la Fé *et al.*, 2006), donde la última capa externa se conforma a su vez por la superposición de cuatro o cinco cubiertas fibrosas compuestas de proteínas, lípidos y mucopolisacáridos, haciendo que el huevo sea altamente resistente. Cabe señalar que ésta posee cavidades llamadas “fosetas” que permiten al huevo tener una mejor adhesión al tejido del hospedero (Aycicec *et al.*, 2001).

### Objetivos

Evaluar la pérdida de viabilidad ocasionada por la plata en diferentes estados de oxidación ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ ) a través de la pérdida de viabilidad de *Toxocara canis* (Werner, 1782).

### Objetivos específicos

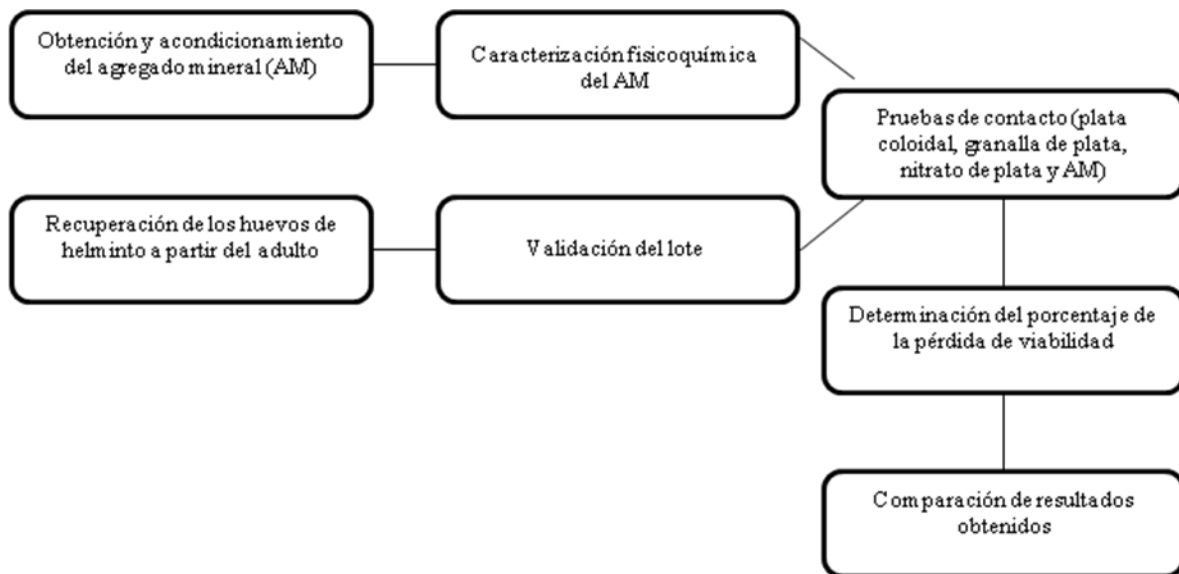
Evaluar la pérdida de viabilidad que ofrece la plata coloidal, la granalla de plata, nitrato de plata y de un AM en huevos de *T. canis*.

Determinar la reducción de viabilidad a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

Evaluar al AM como una alternativa para quitar viabilidad a huevos de helminto con base a la pérdida de viabilidad de *T. canis*.

Comparar los resultados obtenidos para los cuatro tipos de compuestos a través de la reducción de viabilidad.

### Metodología empleada



**Figura 1 Diagrama que resume las actividades desarrolladas**

El AM se trituroó, lavó y dejó secar al sol. Posteriormente, se determinó su contenido de plata y otros elementos mediante el método de difracción de Rayos X de polvos, análisis por vía seca y ensayo por coloración en llama.

El helminto adulto se obtuvo a partir de la purga de un perro, posteriormente se lavó con agua destilada y validó taxonómicamente. Mediante una disección helmintológica se extrajeron los huevos de la hembra

grávida (lote único) y se colocaron en solución salina fisiológica al 0.45% (V/V), conservándolos en refrigeración a 2-4°C hasta su utilización.

Para las pruebas de viabilidad se extrajeron tres alícuotas de 15 organismos y para fomentar su desarrollo a la forma larvada se incubaron en una solución 0.01 N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a 26±2°C durante 28 días como se sugiere Adams y Kayes (1979). Habiendo transcurrido el tiempo se evaluó el porcentaje de organismos de *T. canis* larvado, aceptando el lote si se obtuvo un porcentaje mayor o igual al 80% de organismos larvados.

Para las pruebas de contacto se tomó la misma cantidad de organismos por ensayo, se colocaron en cajas de Petri y se expusieron a contacto directo con los diferentes compuestos con contenido metálico a las siguientes concentraciones y tiempos: plata coloidal comercial (3.5 g/L) con (5x10<sup>-5</sup> g/L) y 3.5 g/L a 50, 100, 150, 200, 250 y 300 min. Granalla de plata (Ag<sup>0</sup>) y nitrato de plata AgNO<sub>3</sub> (Ag<sup>1+</sup>) con 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 y 3.00 g/L a 30, 60, 90, 120 y 150 min y AM (Ag<sup>0+</sup>, Ag<sup>1+</sup> y Ag<sup>2+</sup>) con concentraciones 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 y 2.00 g/L a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min a agitación suave en un vortex (votex genie-G560, *scientific industry*). Todas las pruebas se llevaron a cabo por triplicado. Una vez transcurrido el tiempo de contacto, se detuvo la reacción mediante un lavado con Tween 80 (Polisorbato 80) y lecitina de soya como se sugiere en Johnson *et al.*, (2002) y luego se lavó dos ocasiones con agua destilada. Posteriormente todas las muestras experimentales se incubaron en las condiciones de incubación previamente señaladas. Una vez habiendo transcurrido el tiempo establecido se evaluó el porcentaje de pérdida de viabilidad del huevo de helminto mediante la presencia o ausencia de estadios larvarios.

## Resultados

El lote recuperado de huevos de *T. canis* empleado en la experimentación presentó una viabilidad de 87±4.50%, lo que implica que es un lote válido y por lo tanto se empleó para desarrollar las pruebas de contacto con los diferentes agentes de prueba.

De acuerdo con el análisis realizado, el AM contiene plata en una 128 ppm, lo cual es considerado como trazas.

Los experimentos efectuados con plata coloidal comercial, no evidenciaron pérdida de viabilidad (0%) a la dosis sugerida (5x10<sup>-5</sup> g/L) a ningún tiempo de contacto como se observa en la Figura 2, mientras que a 3.5 g/L se registró el máximo de 35±20% a 180 minutos.

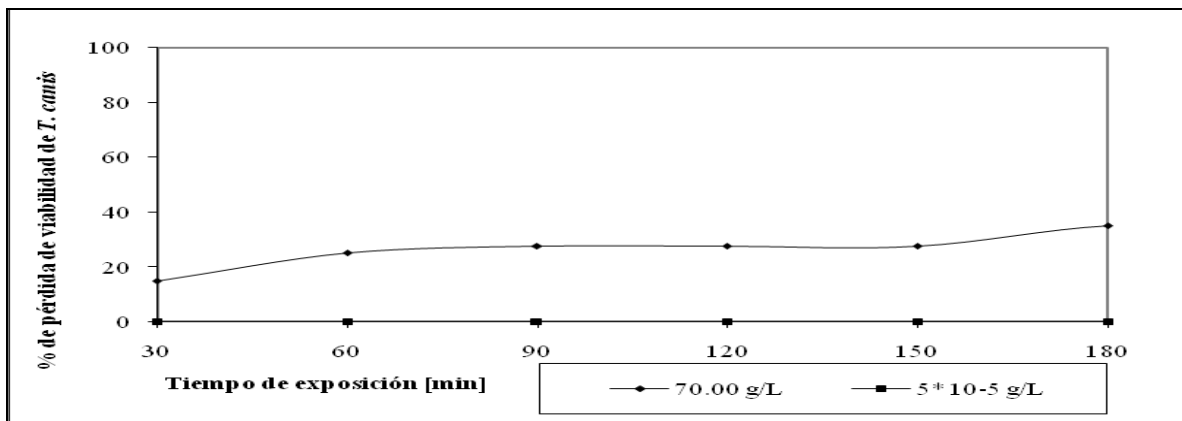


Figura 2. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición a plata coloidal

La granalla de plata (Ag<sup>0</sup>) arrojó resultados positivos en todos los casos obteniéndose un 32.00±8.65% a 0.01 g/L y 30 min y un máximo de 55.00±0.95% a 2 g/L que desde los 120 minutos permaneció constante el resto de la prueba. En todas las concentraciones evaluadas después de 120 min de tiempo de contacto el aumento del porcentaje de pérdida de viabilidad fue de ±0.1%, como se muestra en la Figura 3.

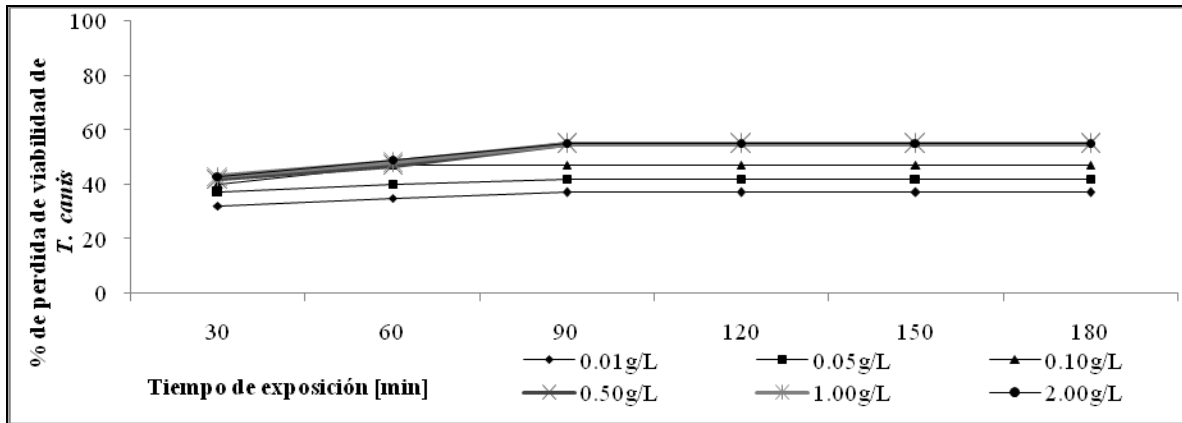


Figura 3. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición a la granalla de plata ( $Ag^0$ )

El nitrato de plata ( $Ag^{1+}$ ) obtuvo resultados positivos en todos los ensayos (Figura 4) registrándose la pérdida de viabilidad mínima 40,00% a los 30 min y 0.01 g/L, obteniéndose el máximo a los 120 min y 2.00 g/L con  $65.33 \pm 6.11$ . Para los tiempos de exposición iguales o superiores a 120 min y 0.50 g/L los valores permanecieron constantes.

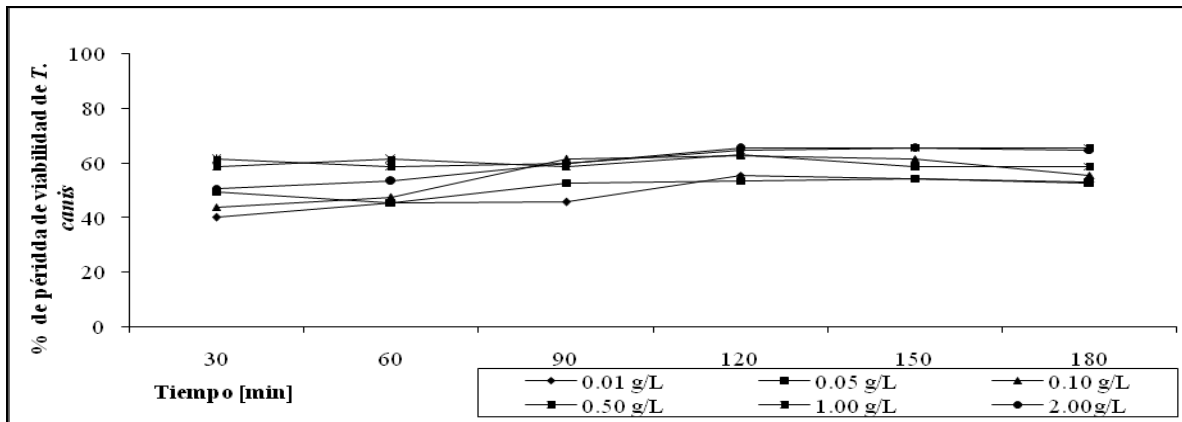


Figura 4. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición al  $AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ )

El AM registró valores a todas las concentraciones evaluadas que van desde un 35.00% para tiempos de exposición de 30 min hasta el máximo valor registrado dentro de todas las pruebas de contacto con  $92.90 \pm 0.97\%$  correspondientes a una concentración adicionada de 0.01 y 2.00 g/L respectivamente. A partir de un tiempo de exposición de 120 minutos el aumento de pérdida de viabilidad no aumenta considerablemente ( $\pm 0.2\%$ ).

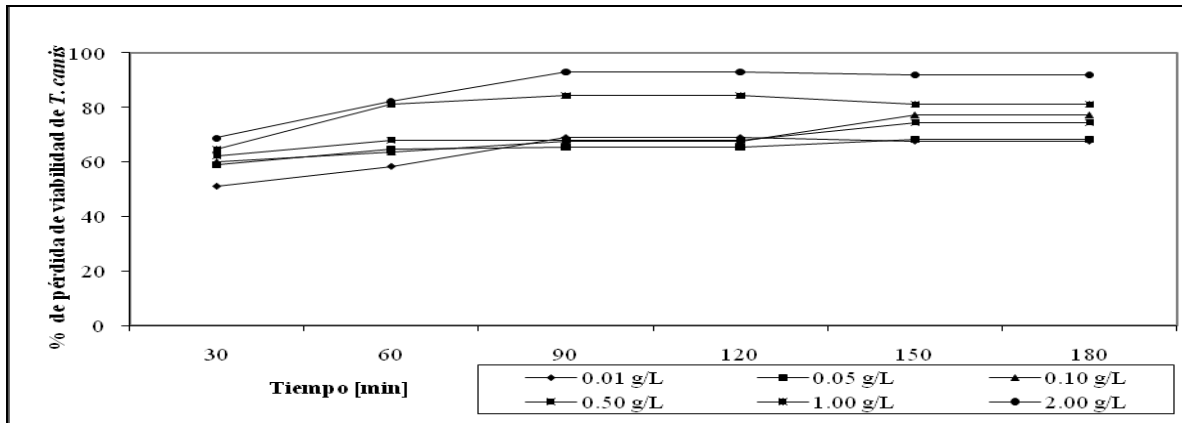


Figura 5. Pérdida de viabilidad de *T. canis* por exposición al AM ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$  y  $Ag^{2+}$ )

En la Figura 6, se observan las diferencias morfológicas experimentadas en el huevo al ser sometido a los compuestos con plata. El testigo que no tuvo contacto con ella se muestra con un núcleo y con las estructuras membranales bien definidas, delimitadas y homogéneas. En el caso de la granalla de plata el huevo posee una forma esférica y sin deformaciones, pero el núcleo y la membrana han perdido definición y homogeneidad en comparación al testigo. El expuesto a  $AgNO_3$  presenta una disminución del grosor y de la definición al exterior de la misma, pero el núcleo está aun definido, aunque ya no es homogéneo. Cabe destacar que existen restos de nitrato de plata adheridos en el exterior y que el huevo presenta elongación. En el caso del AM hay un adelgazamiento de la cubierta externa, deformaciones en la interna e inclusive en algunas zonas ya no existe, permitiendo con ello la salida del material nuclear, encontrándose disperso y heterogéneo. Al igual que el caso anterior existe elongación y agente de prueba sobre él.

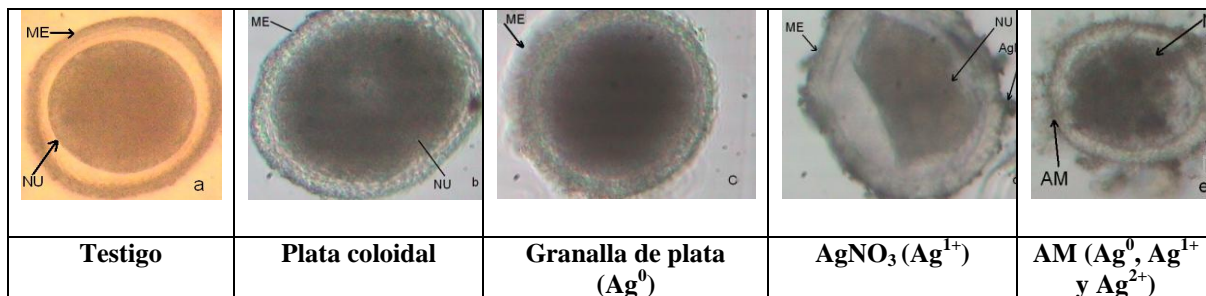


Figura 6. Huevo de *T. canis* expuesto a los diferentes compuestos de plata a 2 g/L 120 min (c, d, e) (40X) a) Huevo saludable muestra que no hay estructuras dañadas; b)  $5 \times 10^{-5}$  g/L y 120 min, no existen alteraciones observables; c) Disminución del grosor en la membrana; d) Se observa daño en membrana, núcleo y la deposición de  $AgNO_3$ ; y e) huevo con daño en membrana, material nuclear disperso. ME = Membrana, NU = Núcleo,  $AgNO_3$  = nitrato de plata, AM = Agregado mineral

## Discusión

Los resultados obtenidos señalan que los huevos de *T. canis* son sensibles a todos los estados de oxidación de la plata en mayor o menor magnitud, donde el tiempo de exposición, la concentración y el estado de agregación son factores determinantes en la pérdida de viabilidad. En todos los ensayos con los diferentes compuestos de plata se presentan comportamientos diferentes atribuidos al sitio y mecanismo de acción de cada uno.

La plata coloidal no constituye una opción desinfectante debido a que a la concentración que arrojó resultado positivo es 1400 veces superior a la sugerida y de ser aplicada sería dañina para la salud al provocar argiria (Wadhwa y Fung, 2010). La efectividad es baja (35.00%), a pesar que el mecanismo de acción se basa en la

necesidad de los iones a balancearse y factores como la dosis aplicada, permeabilidad, tiempo de exposición o el nivel de interacción con la membrana no son suficientes para eliminarlo. De manera adicional, existen mecanismos de reparación en la membrana y a nivel genético (Lewin, 2010), es por ello que en ocasiones los agentes no resultan letales. La plata metálica ( $Ag^0$ ) a pesar de su baja solubilidad, no tener carga y la posible baja interacción con las proteínas de la membrana registra una zona bien delimitada del 32 al 48%, lo cual sugiere un efecto desinfectante muy ligero sobre *T. canis* en comparación a otros agentes de prueba.

El  $AgNO_3$  ( $Ag^{1+}$ ) de igual manera registra una zona bien delimitada que va de un 40 a un 63 %, donde el mecanismo predominante se basa en la interacción proteica sobre la cisteína y la metionina que forman enlaces S-Ag altamente estables y que alteran la permeabilidad de la membrana (Orta de Velásquez, 2008), la síntesis de fosfolípidos y finalmente la inhibición de la transcripción del material genético ocasionando que el organismo no se desarrolle.

El AM ( $Ag^0$ ,  $Ag^{1+}$ ,  $Ag^{2+}$ ) resultó, no obstante presentar un bajo contenido de plata, ser el de mayor efectividad con un 92% a una concentración de 2.00 g/L y 90 min. Al parecer, la pérdida de viabilidad responde a un mecanismo de acción combinado (mecánico y químico), dentro de los cuales se encuentran la formación de proteinatos de plata y la formación de enlaces S-Ag en la cubierta externa, ocasionados por los diferentes estados de oxidación de la plata presentes en el material y un daño mecánico que favorece la entrada del agente metálico. Lo anterior induciría alteraciones en la permeabilidad de la capa externa del huevo, así como la oxidación de su contenido interno. Posiblemente, el mecanismo de inactivación se vea favorecido por la presencia de elementos como el cobre, hierro y zinc, los cuales son comunes en ese tipo de agregados, ya que los huevos de *T. canis* se muestran sensibles ante ellos, tal como lo indica Rodríguez-Toledano (2009).

## Conclusiones

Los huevos de *T. canis* muestran pérdida de viabilidad para granalla de plata, nitrato de plata y AM en todos los casos a partir del tiempo de exposición y concentración mínimos evaluados (30 min y 0.01 g/L), mientras que la plata coloidal no causó efecto a una concentración de  $5 \times 10^{-5}$  g/L (dosis sugerida) y 180 minutos, por lo cual ésta última no puede ser considerada como una alternativa desinfectante para huevos de helminto. A la concentración de 2 g/L y 120 min se obtuvieron los valores máximos para cada caso, donde el AM registró la mayor efectividad con  $92.90 \pm 0.57$ , seguido del nitrato de plata con  $65.57 \pm 6.11$ %, posteriormente la granalla de plata con  $55.00 \pm 0.45$ % y por último la plata coloidal con 0%. Adicionalmente, se observa que existe una respuesta gradual morfológica (principalmente daño en membrana y el núcleo) que es correspondiente a la concentración y al tiempo de exposición.

Debido a que el AM registró valores altos de pérdida de viabilidad (92.90%) puede ser considerado como un material que permite una desinfección alternativa para huevos de helminto (*T. canis*), ya que induce su inactivación. Asimismo, es de fácil obtención y aplicación, bajo costo, no genera compuestos tóxicos secundarios, no aporta coloración, su manejo y transportación son seguros y se obtienen resultados desde tiempos de exposición y concentraciones bajas.

## Referencias Bibliográficas

- Adams Oaks J. and Kayes G. (1979) Artificial Hatching and culture of *Toxocara canis* second stage Larvae, *J. Parasitol.*, 65(6), 969-970.
- Aguilar P., Jiménez B., Maya C., Orta T. and Luna V. (2006) Disinfection of sludge with high pathogenic content using silver and other compounds. *Water Sci. Technol.* 54(5), 179-187
- Aycicek H, Yarsan E., Tanyksel H.O., Girginkardesler N. and Ozyurt N. (2001) Efficacy of Some Disinfectants on Embryonated Eggs of *Toxocara canis*. *M. Turk. J. Med. Sci.*, 31, 35-39.
- Bratton R. and Nesse R. (1993) Ascariasis: An infection to watch for immigrants. *Postgraduate Medicine*, 93, 171-178.
- De la Fé Rodríguez P., Duménigo Ripoll B.E., Brito Alberto E., y Aguiar Sotelo J. (2006) *Toxocara canis* y Síndrome Larva Migrans Visceralis (*Toxocara canis* and Syndrome Larva Migrans Visceralis). *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. 7(04), 1-18 Octubre de 2008. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040406.html>
- Gross M. and Farrell-Poe K. (2004) *Disinfection*, University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management. 34pp. Agosto de 2010. <http://onsite.tennessee.edu/Disinfection.pdf>
- Jiménez B. (2007) Helminths (worms) eggs control in wastewater and sludge, en *International Symposium on New Directions in Urban Water Management 2007*, UNESCO Paris, 1-8.



- Johnston M.D., Lambert R.J.W., Hanlon G.W. and Denyer S.P. (2002) A rapid method for assessing the suitability of quenching agents for individual biocides as well as combinations. *Journal of Applied Microbiology*, 92, 784–789.
- Lewin B. (2010) *Lewin's Genes X*, EDS: Krebs J.E., Goldstein E.S. and Kilpatrick Sudbury, Mass Jones and Bartlett publishers, 856pp.
- Metcalf and Eddy. (2004) *Engineering Treatment and Reuse*, 4th edition, Mc Graw Hill, 1819pp.
- Orta de Velasquez M.T., Yañez-Noguez I., Jimenez-Cisneros B. and Luna-Pabello V.M. (2008) Adding silver and copper to hydrogen peroxide and peracetic acid in the disinfection of an advanced primary treatment effluent, *Environmental Technology*, 29(11), 1209-1217.
- Rodríguez-Toledano D.N. (2009) Efecto de agregados minerales sobre la viabilidad de huevos de helminto (*Toxocara canis*), Tesis Licenciatura, UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, 57pp.
- Rojas-Valencia M.N. y Orta de Velásquez M.T. (2009) Evaluación del efecto del ozono y de la radiación ultravioleta sobre la estructura y viabilidad de huevos de helmintos, 1-8. Agosto de 2010. <http://www.cepis.opsoms.org/bvsaidis/mexico11/ar-9.pdf>
- Vásquez-Garibay E.M., Romero-Velarde E., Nápoles-Rodríguez F, Nuño-Cosío M.E., Trujillo-Contreras F. y Sánchez-Mercado O. (2002) Prevalencia de deficiencia de Hierro y Yodo, y parasitosis en niños de Arandas, Jalisco, México *Salud Pública de México*, 44(3), 195-200.
- Wadhera A. and Fung M. (2010) Systemic argyria associated with ingestion of colloidal silver, *Dermatology Online Journal* 11(1), Agosto de 2010. [http://dermatology.cdlib.org/111/case\\_reports/argyria/wadhera.html](http://dermatology.cdlib.org/111/case_reports/argyria/wadhera.html)
- WHO, World Health Organization. (2006). Guías para la calidad del agua potable primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición. 408pp.
- WHO, World Health Organization. (2009) Agosto de 2010. <http://www.who.int/topics/helminthiasis/en/>

