



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería
Maestría en Hidráulica

"Deshelmintación de aguas residuales y de desechos en la planta de tratamiento Centro del CEA, Querétaro, mediante Bingsti".

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Q. en A. María Eugenia Ortega Morín

Dirigido por:

Dr. Nikolai Serpokrlov Sergeevich

SINODALES

Dr. Nikolai Serpokrlov Sergeevich
Presidente

Dr. Raúl Pineda López
Secretario

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortázar
Vocal

Dr. Guillermo Cabrera López
Suplente

M. en C Rafael Zarate Araiza
Suplente

Ing. Jorge Martínez Carrillo
Director de la Facultad


Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Sergio Quesada Aldana
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Enero, 2002
México

No. Adq. 1467862

No. Título _____

Clas 628.3

077d

Ej-1

RESUMEN

En esta tesis se presentan los estudios efectuados a un preparado de origen natural con el fin de utilizarlo como depurador biológico de aguas residuales. Este preparado se le ha llamado Bingsti debido a sus acciones sobre los huevos de helmintos: B- por biológico, ing- porque inhibe el crecimiento y sti- porque estimula también el crecimiento. El preparado se ha aplicado previamente en aguas residuales en Rusia bajo condiciones ambientales típicas de esa región y demostró ser sumamente eficiente (99.9%) en la eliminación de huevos de helmintos de aguas residuales.

Para este trabajo, el producto se elaboró a partir de plantas vegetales de tallos tiernos concretamente de jitomate fresco o seco y con brotes de papa.

Posteriormente se aplicó en una planta de tratamiento bajo las condiciones ambientales de la zona urbana de Querétaro; concretamente en la planta de tratamiento Centro de la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro tanto en las aguas residuales como en los lodos de desechos simultáneamente.

Además del trabajo y los resultados de campo, se sistematizó la elaboración del preparado y posteriormente a su aplicación, se determinaron en el laboratorio los niveles de deshelmintación tanto en las aguas residuales como en los lodos de desechos; con base a los estudios realizados en el laboratorio del preparado con los huevos de *Ascaris*.

Entre los principales resultados se pueden señalar:

- Las dosis óptimas de aplicación resultaron muy bajas (de tipo homeopático), por lo que fue necesario diluir el preparado hasta alcanzar concentraciones del orden de 0.05 mL/m^3 de agua residual.
- Se alcanzaron eficiencias muy semejantes a las obtenidas en las experiencias rusas e inclusive de 100% en algunos casos de deshelmintación.
- Todas las variedades de jitomate (Jironda y Gabriela) utilizadas resultaron muy eficaces en la deshelmintación.
- No se detectó alteración alguna en las características propias de las aguas residuales durante la aplicación del preparado.

Palabras claves: Helmintos, tratamiento de agua, Bingsti, aguas residuales y lodos.

SUMMARY

This thesis deals with the investigation about a natural solution used as a biological cleaner of wastewater. This compound is called Bingsti because its action over helminth eggs: B- for biological, ing-because it avoids its growth, and sti- because it also stimulates its growth. This solution has been used in Russian wastewater, under environmental conditions of that region eliminates helminth eggs from wastewater with efficiencies as high as 99.9%. For this project, the solution was made from young tomato stems and potato sprouts. Bingsti solution was used to treat wastewater from Querétaro, under the environmental conditions of this urban area. The process was applied to wastewater and sludge of the "Centro de la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro" treating plant. The elaboration of the solution was systematized, in addition we also studied the different species of *Ascaris* in the laboratory.

Among the main results we find:

- The best doses of application (homeopatical) were very low (0.05 mL/m³).
- The efficiencies obtained was similar to those obtained in Russia, in some dehelmination was 100% efficient.
- Both kinds of tomatoes (Jironda and Gabriela) used resulted effective in the dehelmination process.
- No alteration in the normal characteristics of the wastewater was detected.

Key words: Helminth, wastewater treatment, Bingsti, wastewater and sludge

Dedicatorias:

Dedico esta tesis y toda mi vida a mi esposo:

Salvador

e hijos:

María Eugenia
Salvador
Andrés
Y Verónica

Así como a mis padres: Octavio y Mary

De los que siempre he recibido su apoyo.

Agradecimientos:

A mis Maestros,

Compañeros,

Y Amigos.

ÍNDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de cuadros	vii
Índice de figuras	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. EL AGUA Y SU CONTAMINACIÓN: CONCEPTOS	3
GENERALES	
II.1 El agua	3
II.2 Contaminación del agua	5
II.3 Aguas residuales	17
II.4 Tratamiento de las aguas residuales	19
II.5 Reuso del agua	27
II.6 Lodos de desecho	31
III. ELIMINACIÓN DE HELMINTOS POR MÉTODOS	41
BIOLÓGICOS	
III.1 Origen del preparado bingsti	41
III.2 Influencia del preparado bingsti en la viabilidad de microorganismos.	44
III.3 Estudio de las propiedades funguicidas del preparado bingsti.	48
III.4 Estudio experimental de las propiedades ovicidas del preparado bingsti.	49
III.5 Evaluación toxicológica del preparado bingsti con pruebas biológicas.	50
III.6 Estudio experimental de pruebas vegetales del preparado bingsti.	52

IV. METODOLOGÍA	54
IV.1 Elaboración del preparado BINGSTI	54
IV.2 Influencia del preparado en los lodos activados	56
IV.3 Irregularidades del gasto de entrada.	56
IV.4 Determinación del tiempo de retención.	57
IV.5 Determinación de la cantidad de helmintos.	58
IV.6 Dosificación del preparado.	61
IV.7 Determinación de helmintos después de la aplicación del preparado.	62
V. RESULTADOS	64
V.1 Influencia del preparado en los lodos activados.	64
V.2 Irregularidad del gasto de entrada.	65
V.3 Estudio experimental del tiempo de retención.	67
V.4 Determinación de huevos de helmintos.	70
V.5 Dosificación del preparado.	71
V.6 Determinación de huevos de helmintos después de la aplicación del preparado.	72
V.7 Costos del tratamiento con el BINGSTI.	74
V.8 Propuesta técnica .	75
VI. CONCLUSIONES	79
LITERATURA CITADA	81
ANEXOS	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Extracción, consumo y descarga del agua en el país por los diferentes usos	5
2.2	Principales características de los helmintos intestinales de mayor incidencia en México.	13
2.3	Caracterización de las aguas residuales municipales (valores promedio)	16
2.4	Tipos de organismos que se encuentran en aguas residuales domésticas.	18
2.5	Operaciones y procesos unitarios que se emplean para el tratamiento de agua	21
2.6	Eliminación o destrucción de bacterias por diferentes procesos de tratamiento.	23
2.7	Comparación de los principales métodos de desinfección	26
2.8	Guía de calidad microbiológica recomendada por la Organización Mundial de la Salud para uso del agua residual en agricultura.	30
2.9	Métodos de tratamiento y evacuación de fangos.	33
2.10	Cantidad y calidad de los lodos producidos por diferentes procesos	34
2.11	Comparación de las características físicas y microbiológicas de lodos crudos primarios de algunos lugares de México	35
2.12	Ventajas y desventajas de los principales procesos de estabilización de lodos	37
2.13	Tiempo de sobrevivencia de los patógenos	40
3.1	Aplicación del preparado Bingsti en diferentes plantas de tratamiento en Rusia	43
3.2	Influencia del preparado Bingsti en la cantidad de <i>E. coli</i>	45

3.3	Influencia del preparado Bingsti en la cantidad de <i>Enterococcus</i>	46
3.4	Influencia del preparado Bingsti en la cantidad de Colífagos	46
3.5	Influencia del preparado Bingsti en la cantidad de <i>B. cereus</i> (forma vegetativa)	47
3.6	Influencia del preparado Bingsti en la cantidad de <i>B. cereus</i> (forma de esporas)	47
3.7	Resultados del estudio de propiedades funguicidas del preparado Bingsti.	48
3.8	La acción ovicida del preparado "BINGSTI"	49
3.9	Cantidad de <i>Dahpniás</i> muertas según dosis del preparado Bingsti	50
3.10	Influencia del preparado Bingsti en la reacción tóxica de Infusorias (por reacción de su conducta)	51
3.11	Crecimiento de Infusorias según la dosis del preparado	51
3.12	Cambio de bioluminiscencia de las bacterias según la dosis del preparado	52
3.13	Resultados de la prueba vegetal según la dosis del preparado	53
3.14	Influencia del preparado Bingsti sobre las semillas de avena	53
5.1	Índice de sedimentación durante una semana de lodos activados.	64
5.2	Resumen de los gastos de agua de entrada a la planta de tratamiento.	67
5.3	Análisis de helmintos en la planta de tratamiento antes de añadir el preparado	70
5.4	Dosis del preparado de trabajo añadido	72
5.5	Análisis de huevos de helmintos después del preparado	73
5.6	Dosificaciones posibles según el modelo de dosificador	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Diferentes tipos de helmintos en su estado adulto y de huevo	12
2.2	Ciclo del <i>Áscaris lumbricoides</i> : hombre-suelo-hombre	14
2.3	Procesos convencionales en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales	20
4.1	Preparado BINGSTI en su variedad húmeda	54
4.2	Entrada del agua residual a la planta de tratamiento (desarenador)	58
4.3	Sedimentador primario	59
4.4	Tanque de aeración y recirculación de lodos	60
4.5	Pozo de lodos para su recirculación	60
4.6	Sedimentador secundario, salida del tratamiento	61
4.7	Dosificador del preparado	62
4.8	Lecho de secado de lodos	63
5.1	Gasto de entrada de agua residual a la planta de tratamiento por día	66
5.2	Cantidad de agua residual promedio de entrada en una semana en la planta de tratamiento	66
5.3	Medida del tiempo de retención en el sedimentador primario	68
5.4	Medida del tiempo de retención del reactor biológico o tanque de aeración	69
5.5	Huevos de <i>Áscaris sp</i> izquierda fértil, derecha infértil	72
5.6	Dosificador Comercial	76

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales, sobre todo las domésticas, contienen impurezas biológicas. Entre estas se encuentran organismos patógenos procedentes de desechos de humanos infectados, portadores de algunas enfermedades. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son: las bacterias, los virus, los protozoos y los helmintos.

El agua residual sin tratamiento, llamada cruda, tiene dependiendo de la región una cantidad de helmintos de entre 40 y 60 huevos de helminto por litro (HH/L) de los cuales el 90% son *Ascaris*. Durante los procesos de depuración, la cantidad de parásitos disminuye en algunas unidades por litro, dependiendo del método utilizado en el tratamiento. Comúnmente un agua residual tratada contiene alrededor de 5 a 10 HH/L dependiendo del tratamiento aplicado, ya sea tratamiento primario, secundario o terciario.

Después de los procesos de tratamiento, las aguas son desinfectadas, para lo cual existen también varios métodos, pero estos no eliminan totalmente los parásitos y menos sus huevos, por lo anterior el reuso de aguas residuales es una fuente de contaminación de suelos, acuíferos, aguas superficiales y cultivos.

En nuestro país gran parte del agua residual es reutilizada principalmente en las zonas agrícolas, debido a la escasez de la misma. En muchos lugares no sólo se utiliza agua ya tratada sino agua cruda, por lo que a través de las cadenas alimentarias, este problema puede traducirse en enfermedades para la población. Por ello, cada vez esta siendo más estricto el gobierno para normar el uso de agua tratada según la calidad de ésta. Desde 1996, se ha exigido determinar la presencia de organismos como quistes de protozoos o huevos de helmintos en las aguas residuales tratadas siendo de gran importancia para clasificar la calidad del agua para su reuso y eliminar este tipo de organismos patógenos en su totalidad.

Los lodos de desecho obtenidos en las depuradoras de agua, son el resultado de todos los procesos de sedimentación en los tanques, su contenido de huevos de helmintos llega a tener concentraciones de 50 a 160 HH/g de sólidos totales. Al desecharse estos lodos, se debe tener un tratamiento con dos finalidades principales:

- a) secarlos para su mejor manejo, ya que salen con un 90% de agua
- b) eliminar los microorganismos patógenos.

El objetivo de éste trabajo es aplicar un método biológico para la eliminación de helmintos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Este método se basa en la elaboración y aplicación de un preparado de origen vegetal, en las aguas residuales y lodos de desecho de las plantas de tratamiento. Para evaluar los resultados el método se aplicó en la planta Centro de la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (CEA).

Debido a que el método fue desarrollado originalmente en Rusia y aplicado con éxito en las condiciones ambientales de esa región, un segundo objetivo de este trabajo es demostrar que dicho método funciona igualmente para las condiciones de nuestro país; esto es con los vegetales mexicanos y con el clima de esta región.

La aplicación de esta biotecnología en el tratamiento de aguas residuales, nos ofrece grandes ventajas como son: el bajo costo, simplicidad al aplicarlo, no agresivo al ambiente y sobre todo de gran eficiencia en la eliminación de helmintos.

II. EL AGUA Y SU CONTAMINACIÓN: CONCEPTOS GENERALES

II.1 EL AGUA

El agua es un recurso que antaño se consideró ilimitado, pero en la actualidad se clasifica como de volumen relativamente constante dentro de su ciclo. Dada la explotación de los ecosistemas por el hombre (generalmente sin respeto a los ciclos naturales), el ciclo del agua ha sufrido cambios como consecuencia del avance de la industrialización, urbanización y mala distribución de la población.

El agua es un recurso vital que debe valorarse; no debe abusarse de su suministro ya que en la actualidad las grandes ciudades consumen volúmenes tales de este líquido que impactan en una forma desmedida los mantos freáticos, la estabilidad de suelos y las regiones desde donde se extrae e importa el líquido (Vásquez, 1994).

El agua es fundamental para la vida. La distribución de lluvias en el planeta en espacio y tiempo dista mucho de ser uniforme y un futuro sostenible dependerá de que aprendamos a administrar nuestros recursos hidráulicos (Nebel y Wright, 1999).

El agua, en su estado natural, se encuentra generalmente como una disolución cuya composición está determinada por los compuestos químicos presentes en la litosfera, la atmósfera y la biósfera, mismas que al estar en contacto con el líquido afectan sus propiedades físicas y químicas.

Algunos compuestos que se encuentran disueltos en el agua, como los minerales, son vitales para el metabolismo de vegetales y animales, el agua constituye el medio por el cual estos organismos los adquieren y asimilan. El hombre, además

de requerir del agua para sus funciones vitales, la destina a otros usos que considera benéficos; entre ellos, el riego agrícola, el cultivo de peces, las aplicaciones industriales, el transporte de mercancías y el arrastre de residuos, por lo que el agua se considera uno de los recursos más importantes del hombre (Fernández, 1994).

El agua presenta otras características que limitan su uso. Es muy caro transportarla de un lugar a otro y se contamina fácilmente. En general, se utilizan grandes cantidades de agua, pero sólo una porción muy pequeña es usada para consumo humano. Sin embargo, también en la agricultura y en la industria el agua está resultando un factor limitante.

En las regiones áridas y semi-áridas como parte del Estado de Querétaro, el agua está resultando un problema difícil de resolver. Tal problemática la podemos dividir en dos: la correspondiente a la escasez y sobreexplotación de los mantos acuíferos, y la que se refiere a su contaminación.

Una posible solución aunque difícil de alcanzar incluye acciones encaminadas a conservar, reutilizar y usar más eficientemente el agua en todos los sectores; acciones como el control de pérdidas y uso eficiente del agua en zonas urbanas, revestimiento de canales de riego, cambios de patrones de cultivos, la utilización de aguas residuales tratadas en el sector agrícola y la recirculación del agua para fines industriales y recreativos (Cabrera y Rodríguez, 1997).

Por lo que se refiere al aspecto de cantidad, la extracción del agua en México alcanza cerca de 186.4 km^3 por año ($5,920 \text{ m}^3/\text{s}$), esto es, 45% de la precipitación del país. En el cuadro 2.1 se indica la extracción, consumo y descarga según su uso. La explotación del agua superficial y subterránea para diversos fines ha sido excesiva, por lo que es necesario cada vez más la utilización de agua de reuso (Jiménez, 2001).

Cuadro. 2.1 Extracción, consumo y descarga del agua en el país por los diferentes usos

USO	EXTRACCIÓN		CONSUMO		DESCARGA	
	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%
Riego	1760	77	1478	88	282	47
Industria	295	13	117	7	178	27
Usos municipales	235	10	86	5	149	26
Total	2290	100	1681	100	609	100

(Jiménez, 2001)

Por lo que se refiere a su calidad, no existe una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas, esto se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y del grado de avance de la ciencia y tecnología para determinar los efectos y medir los contaminantes. A pesar de esto, es claro que la contaminación provoca el abatimiento o muerte de la flora y fauna, impide el uso del agua en industrias o ciudades y deteriora el ambiente y el paisaje (Jiménez, 2001).

Los compuestos que interfieren con el uso al que el agua está destinada son considerados como contaminantes. Cuando el agua abunda es común hacer un uso descuidado de ella y contaminarla (Fernández, 1994).

II.2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El origen de la contaminación es muy variado pero se pueden citar como causantes a los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas, los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los procesos de depuración, la ruptura de drenajes y el lavado de la atmósfera, entre otros. Los contaminantes se distinguen de acuerdo a su naturaleza en químicos, físicos y biológicos (Jiménez, 2001).

En el Estado de Querétaro hay contaminación del agua subterránea antes o después de usarse y del agua superficial. Aunque la contaminación del agua subterránea se puede dar por fracturas que existan, es menos frecuente, pero ya representa un problema serio para el valle de Querétaro. Particularmente, las aguas residuales urbanas e industriales han empezado a contaminar los acuíferos en la inmediaciones de la ciudad de Querétaro (Cabrera y Rodríguez, 1997).

El problema del agua es complejo, para poder hacer uso de ella se requiere que tenga la calidad adecuada. En la actualidad es bien conocido el potencial del agua para propagar epidemias masivas. En los primeros años de este siglo, los intentos por controlar la fiebre tifoidea y diversas afecciones entéricas (o intestinales) dieron por resultado múltiples patentes respecto al uso de agentes oxidantes y otras técnicas de purificación del agua. La primera aplicación de la cloración en gran escala tuvo lugar en 1908 en el embalse Boonton de la planta de abastecimiento de agua de la ciudad de Jersey en Estados Unidos (Henry y Heinke, 1999).

La barrera entre qué es un contaminante y qué es un compuesto benéfico, muchas veces es cuestión de la cantidad en la cual se encuentra una sustancia, valor que no es universal para los seres vivos o usos del agua (Jiménez, 2001).

II.2.1 Contaminantes químicos y físicos.

Los contaminantes químicos provienen de los drenados de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, pesticidas, aguas residuales, municipales; desechos líquidos industriales y compuestos radiactivos. Un contaminante químico tóxico es cualquier sustancia química capaz de causar daño, debilitar o matar a cualquier organismo vivo.

Los contaminantes físicos son alteraciones de las propiedades físicas del agua, tales como la temperatura, color, olor, sabor, turbiedad, conductividad y sólidos. Su origen y efectos son diversos (Jiménez, 2001).

Este trabajo se va enfocar más a los contaminantes biológicos que son los que se quieren eliminar de las aguas residuales y los lodos de desecho como objetivo del mismo.

II.2.2 Contaminantes Biológicos

Los contaminantes biológicos presentes en el agua son seres vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Entre las enfermedades más comunes se tienen: la tifoidea, la salmonelosis, disentería, cólera y las helmintiasis. Los agentes que las causan llegan al agua a través de las heces fecales de humanos o animales enfermos. Para tener una idea de la magnitud de este problema, se estima que el 80% de todas las enfermedades, y más de 1/3 de los fallecimientos en los países en vías de desarrollo, se debe al consumo de agua contaminada (Winkler, 1986).

Debido a que el agua puede servir como conductor de bacterias, virus, protozoarios y helmintos, organismos que se asocian con enfermedades entéricas y endémicas en la comunidad, se puede afirmar que el principal riesgo al tomar agua se debe a su contenido bacteriológico (Jiménez, 2001).

Un patógeno es un agente que causa infección en un huésped vivo, actúa como parásito dentro del huésped y trastorna las actividades fisiológicas normales causando síntomas de la enfermedad. Cada patógeno tiene una puerta de entrada específica (como puede ser por ingestión de alimentos y agua contaminados) hacia su huésped (Henry y Heinke, 1999).

En la evaluación de la contaminación del agua por compuestos biológicos se consideran como los principales parámetros bacteriológicos a: Coliformes totales, Coliformes fecales, *Salmonella*, *Shignella*, *Vibrio cholera*, *Giardia lamblia*; y como parámetro parasitológico a los huevos de helmintos.

El análisis para la evaluación de la calidad biológica del agua consiste generalmente en la determinación de indicadores de tipo bacteriológico y no de organismos patógenos como tales. Tradicionalmente, los grupos de bacterias considerados como indicadores, son los coliformes totales y coliformes fecales especialmente la *Escherichia coli* (Jiménez, 2001).

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para aprovechamiento. Sin embargo, las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para aprovechamiento a menudo se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales. Puesto que no existe duda sobre su origen fecal en las aguas residuales, la suposición es que estos microorganismos indicadores se pueden emplear como indicadores de patogenicidad y que existe por lo menos una relación semicuantitativa entre las concentraciones de microorganismos patógenos y las de indicadores. En la práctica, los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares, por lo general. El grupo de "coliformes totales" es menos fiable como indicador", pues no todos los coliformes de éste tipo son exclusivamente de origen fecal y, sobre todo, en los climas cálidos la proporción de coliformes no fecales es a menudo muy elevada. Las coliformes fecales son indicadores menos satisfactorios de los virus excretados y tienen uso muy limitado cuando se trata de protozoarios y helmintos, para los cuales no existen indicadores seguros.

En 1971, el Grupo de Expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en aprovechamiento de efluentes y recomendó una directriz sobre la calidad

microbiológica del agua empleada para riego sin restricciones de verduras que se consumen cocidas, según la cual el número de coliformes totales no puede ser mayor de 100 por cada 100 mL. En el informe de Engelberg se recomendaron nuevas directrices que contienen normas menos estrictas que las establecidas antes para las coliformes fecales. Sin embargo, son más estrictas que las precedentes en lo que se refiere al número de huevos de helmintos que, según se reconoció, constituyen el mayor riesgo real para la salud pública proveniente del riego con aguas residuales en las zonas donde las helmintiasis son endémicas. Basándose en las pruebas epidemiológicas existentes, se recomienda una directriz sobre la calidad bacteriológica de una media geométrica de 1000 coliformes fecales por cada 100 mL para riego sin restricciones de todos los cultivos (OMS, 2002).

En los últimos años se ha normatizado evaluar no solo los coliformes totales y fecales para determinar la contaminación del agua residual sino también llevar a cabo análisis específicos como es la determinación de los huevos de helmintos. Según las normas vigentes (NOM-003, 1997), los valores permisibles como contaminantes patógenos y parasitarios en las aguas tratadas dependen de su destino, definiendo como contaminantes patógenos y parasitarios, a aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana, sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

Tomando en cuenta que este trabajo se enfoca al proceso de deshelminatación, se aborda en adelante la presencia de helmintos como factor de evaluación de la calidad del agua.

Las técnicas más sensibles existentes hoy en día para detección de huevos de helmintos en aguas residuales permiten encontrar, como mínimo, un huevo por litro. Sin embargo, no se pueden emplear para fines de vigilancia sobre el terreno en los que solo es posible detectar 10 huevos por litro. Estos procedimientos

permiten detectar huevos de las especies *Áscaris* y *Trichuris*, cuya ausencia indica, en la mayoría de los casos, que ha sido eficaz la eliminación de helmintos. Sin embargo, en las regiones donde la prevalencia de estos parásitos es tan baja que su número de huevos es inferior al de huevos de anquilostomas en las aguas negras sin tratar, cabe seguir más bien los procedimientos para la detección de huevos de estos últimos (OMS, 2002).

A manera de ejemplo, las aguas residuales sin tratar o crudas de la Ciudad de México contienen entre 40 y 60 HH/ L (Jiménez, 2001).

II.2.2.1 Indicador parasitológico de la calidad del agua: Helmintos

Los helmintos son parásitos del intestino humano que tienen formas variadas y ciclos complejos de reproducción. La transmisión en algunas especies que infectan al hombre ocurre a través de los huevos o de las larvas que son eliminadas con las heces de la persona enferma. Los huevos presentan una cáscara gruesa que les sirve de protección y les permite sobrevivir por varios meses, si el ambiente es húmedo y tienen temperaturas medias de 28°C (Rolim, 2000).

Se clasifican en tres grandes grupos:

- Cestodos, tenias.
- Trematodos, distomas o duelas.
- Nematodos, gusanos redondos.

Los dos primeros tienen forma plana, semejante a una cinta. Los cestodos tienen el cuerpo segmentado, son hermafroditas y la infección es causada por larvas dentro de quistes. Los trematodos tienen el cuerpo continuo, sin segmentos y en forma de hoja; predomina el hermafroditismo; la infección ocurre por la ingestión de larvas y de huevos.

Los nematodos son gusanos redondos o cilíndricos. Su cuerpo no es segmentado, tienen sexos separados. La infección en muchas especies es producida por larvas dentro de quistes (Rolim, 2000).

Para comprender el papel que desempeñan las aguas residuales en la transmisión de los helmintos, se debe considerar primero la manera en que éstos se diseminan y cómo sobreviven, ya que en muchas especies su ciclo de vida no incluye la ruta fecal.

Las helmintiasis constituyen un grupo de enfermedades comunes en el hombre. Más de 1,000 millones de individuos están infectados por *Áscaris lumbricoides*, y aproximadamente, 800 millones por uncinarias y 500 millones por tricocéfalos. En conjunto, las helmintiasis intestinales causan la muerte de alrededor 100,000 personas anualmente. Además, causan anemia, obstrucción intestinal, prolapso rectal y diarrea (Jiménez, 2001).

En zonas rurales de países en desarrollo aún se observan cuadros muy serios de prolapso rectal que cursan con diarrea profusa y disentería, causados por *Trichuris trichiura*, así como melemas (heces de color negro) producidas por uncinarias y *Strongyloides*.

La anemia producida por uncinarias se debe a la pérdida sanguínea que ocasiona al huésped. Por ejemplo, una infección masiva de 1000 gusanos de *Necator americanus* causa la pérdida de 200 mL de sangre al día, pero una infección leve de *Ancylostoma duodenale* (100 a 200 gusanos) ocasiona los mismos daños.

Las helmintiasis más frecuentes, a escala mundial, es causada por:

1. Nematodos:

Áscaris (*Áscaris lumbricoides*)

Tricocefalosis (*Trichuris trichiura*)

Uncinarias (*Necator americanus* o *Ancylostoma duodenale*)

Oxiuriasis (*Enterobius vermicularis*)

Estrongiloidosis (*Strongyloides stercoralis*)

2. Cestodos:

Himenolepiasis (*Hymenolepis nana*, *H. diminuta*)

Teniasis (*Taenia solium*, *T. saginata*)

De los cuales, los Áscaris, Tricocéfalos, Oxiuriasis, Himenolepiasis y Teniasis tienen como forma de infección hacia el hombre, por la ingestión de sus huevos; y los otros su etapa infecciosa es en su estado adulto o de larva. En la figura 2.1 se tienen algunos tipos de helmintos en su estado adulto y de huevo.

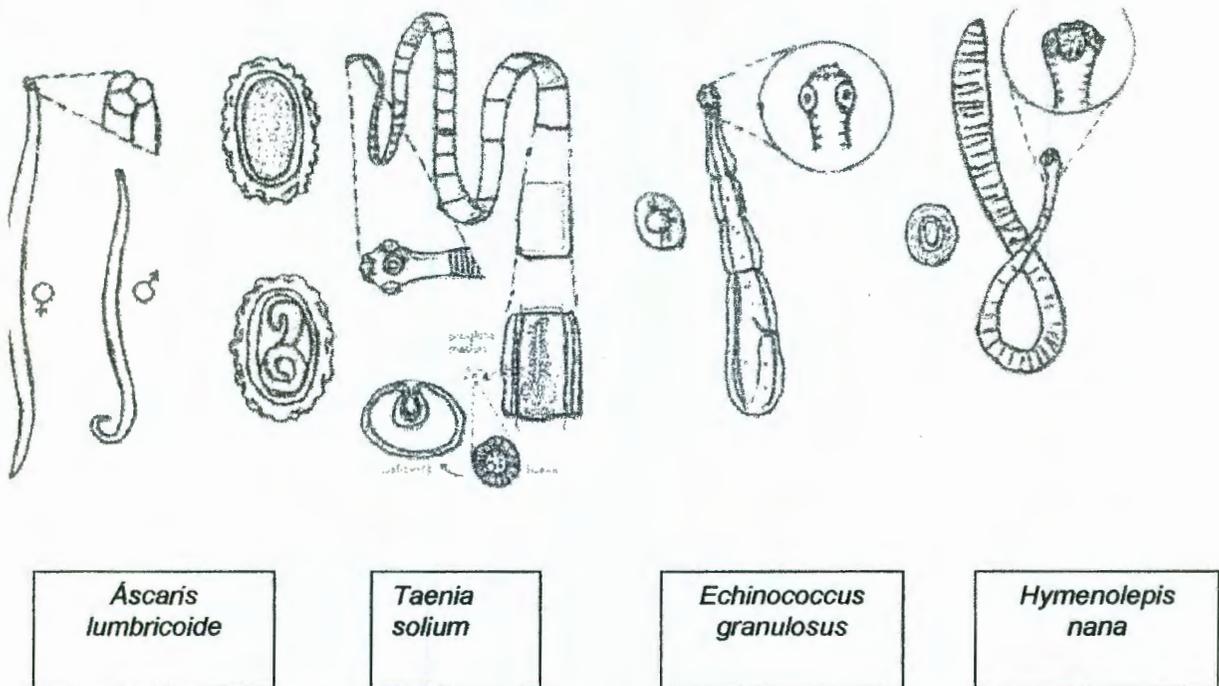


FIGURA 2.1 Diferentes tipos de helmintos en su estado adulto y de huevo

En el cuadro 2.2 se resumen las principales características de los helmintos intestinales de mayor incidencia en México. Tan sólo para la *Áscaris* la tasa de

morbilidad promedio en México es de 33%, es decir, una de cada tres personas se encuentra infectada (Jiménez, 2001).

CUADRO 2.2 Principales características de los helmintos intestinales de mayor incidencia en México.

PARÁSITO	ENFERMEDAD	FORMA INFECTANTE ¹	DURACIÓN DEL CICLO VITAL (días) ²	MORBILIDAD (%)
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Asariosis	Huevos (45 x 50 µm)	60	33-90
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis (tricocefalosis)	Huevos (50 x 23 µm)	90	28-81
<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis (oxiuriasis)	Huevos (55 x 30 µm)	14-28	66 (escolares)
<i>Taenia solium</i> <i>T. saginata</i>	Teniasis cisticercosis	Larvas enquistadas (cisticercos)	35-84	8 3
<i>Hymenolepis nana</i> <i>H. diminuta</i>	Teniasis	Huevos (47 x 37 µm)	30	8
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidiasis	Larvas filariformes	28	3
<i>Necator americanus</i>	Uncinariasis	Larvas filariformes	35-42	26

1 Para el humano

(Jiménez, 2001)

2 Desde el contacto con la forma infectante hasta la etapa adulta y la oviposición

Los huevos de *Áscaris lumbricoides* son eliminados en concentraciones de 10⁴ microorganismos por gramo de materia fecal de individuos infectados. Existe en todo el mundo y es endémico en muchas regiones tropicales y subtropicales. En la figura 2.2 se representa su ciclo de vida.

Actualmente las recomendaciones de la OMS para la reutilización de efluentes tratados de aguas residuales acentúan bastante la concentración de este parásito: para irrigación agrícola sin restricciones, su concentración debe ser inferior a un huevo viable. Este estándar debe estar acompañado con menos de 1000 coliformes fecales / 100 mL de agua residual tratada.

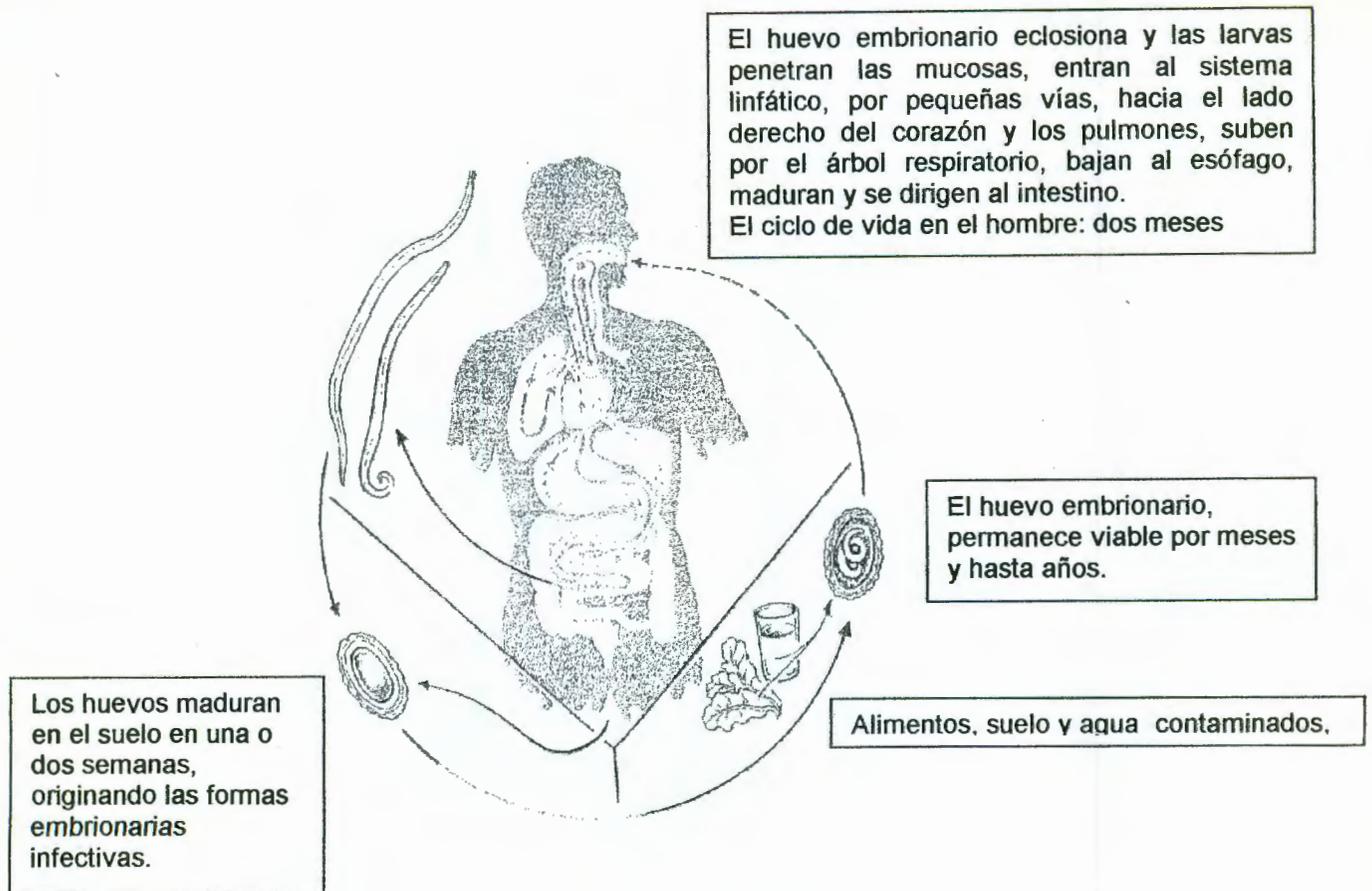


Figura 2.2 Ciclo del *Áscaris lumbricoides*

Los huevos de *Ancylostoma duodenale* y de *Necator americanus* son eliminados en las heces, en concentraciones de 8×10^8 unidades por gramo de heces. En los países en desarrollo la prevalencia es de 40% (Rolim, 2000).

La supervivencia de los huevos de *Áscaris lumbricoides* en heces, lodos, aguas residuales y suelo son de meses y en cultivos agrícolas entre 30 y 60 días, siendo los microorganismos patógenos que más tiempo logran sobrevivir a las adversidades del medio ambiente.

Los parásitos helmínticos más importantes que pueden encontrarse en aguas residuales son: los *Áscaris lumbricoides*, la tenia solitaria *Taenia saginata* y *Taenia*

solium, la *Trichuris trichuria*, la *Ancylostoma duodenale*, el *Necator americanus* y la *Strongyloides stercoralis* (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Son necesarias medidas de saneamiento básico (agua potable en cantidad suficiente, red recolectora de aguas negras y tratamiento adecuado de los residuos líquidos y sólidos), junto con la educación sanitaria, para atenuar la transmisión de enfermedades transportadas por el agua (Rolim, 2000).

II.2.1.2 Análisis de helmintos

La técnica recomendada para la determinación y cuantificación de los huevos de helmintos corresponde a la presentada en el anexo de la Norma Oficial Mexicana (NOM) 001-ECOL/96, la cual es aplicable para muestras de afluentes y efluentes; y otra para lodos que se encuentra en proceso de publicación.

La técnica combina los siguientes métodos de concentración:

1. Difásico: utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y en donde las partículas (huevos, detritus) se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.
2. Flotación: donde el uso de soluciones cuya densidad es la misma o mayor que las partículas de interés permite que éstas permanezcan en la superficie, logrando, además, una mayor eliminación de detritus.

Ésta última técnica utiliza el sulfato de zinc como solución de flotación, la cual tiene una densidad de 1.3 g/cm^3 , y con ello permite la recuperación de huevos de nematodos y de cestodos. El volumen de muestra utilizado es de 5 L, tanto para afluentes como para efluentes y la lectura final incluye el total del sedimento.

Como ya se indicó anteriormente, cuando el destino de las aguas residuales tratadas es el riego agrícola, las concentraciones de helmintos máximas permisibles de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1990 son:

- Para riego restringido (excepto legumbres y verduras que se consumen crudas), de 5 HH por litro.
- Para riego irrestricto (todas) de 1 HH por litro.

Jiménez (1998) realizó una caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas residuales de la Ciudad de México, con la finalidad de estudiar la remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales. Los géneros comúnmente encontrados en el agua cruda del Emisor Central del sistema de drenaje de la Ciudad de México son: Áscaris 90%, Hymenolepis nana 6%, Toxocara 2% y Trichuris 2%.

En este estudio las aguas residuales se sometieron a un tratamiento primario avanzado con sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3]$ y cloruro ferrico ($FeCl_3$) como prueba de jarras y después se desinfectaron usando hipoclorito de sodio ($NaOCl$) y sulfato de cobre ($CuSO_4$). Los resultados obtenidos excedieron al mínimo recomendado para el uso del aguas residuales en el sector agrícola y para cualquier tipo de cultivo, el cual es inferior a 1 HH/L. Los valores obtenidos se presentan en el cuadro 2.3 para los diferentes efluentes. De estos resultados se observa la necesidad de tratar el agua con otros procesos para poder utilizarla en el riego de cultivos.

CUADRO 2.3 Caracterización de las aguas residuales municipales en la Ciudad de México (valores promedio)

PARAMETRO	UNIDADES	TAJO DE NOCHISTONGO	EMISOR CENTRAL	GRAN CANAL KM 0	GRAN CANAL KM 27	VALORES PERMISIBLES
Huevos de helmintos	org/ L	5.1	10.8	4.8	9.06	≤1
Coliformes fecales	CFU/ 100 mL	1.64 E 8	2.26 E. 8	1.47 E 8	1.99 E 8	1000

(Jiménez, 1998)

II.3 AGUAS RESIDUALES

Toda comunidad produce residuos tanto líquidos como sólidos. La parte líquida (aguas residuales) procede esencialmente del agua suministrada a la comunidad y después de haber sido contaminada por los diversos usos a los que ha sido sometida. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de residencias, instituciones públicas, así como de centros comerciales e industriales, a las que, pueden agregarse las aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf y Eddy, 1994).

Por su importancia en relación a los volúmenes generados, las aguas de origen doméstico resultan de mayor importancia; por ello, contienen más concentración de residuos fecales, por lo que se abordan a continuación con mayor detalle.

II.3.1 Aguas domésticas

Aguas negras domésticas o aguas residuales urbanas es el nombre común del agua de desecho generada en las casas habitación. Debido a las actividades hogareñas, presenta variaciones y fluctuaciones en el gasto y la composición a lo largo del día y del año. Es frecuente que el flujo que llega a las plantas de tratamiento (influyente) contenga agua residual doméstica, industrial y pluvial. El agua residual urbana, frecuentemente, es de color gris, tiene turbiedad y materia flotante.

Los microorganismos típicos que se encuentran en el agua residual doméstica se muestran en el cuadro 2.4, comparando los valores con datos de Estados Unidos, se puede resaltar el diferente nivel de salud en nuestro país en comparación con el país del norte.

CUADRO 2.4 Tipos de organismos que se encuentran en aguas residuales domésticas.

ORGANISMO	CONCENTRACIÓN (Número / 100 mL)	
	Estados Unidos	México
Coliformes totales	10^5-10^6	10^8-10^{10}
Coliformes fecales	10^4-10^5	10^7-10^9
Estreptococo fecal	10^3-10^4	10^6-10^8
<i>Shigella</i>	presente	Presente
<i>Salmonella</i>	1-100	10^5-10^7
<i>Clostridium perfringens</i>	$10-10^3$	10^4-10^6
Helminfos	0.01-10	1-40
Entero virus	10-100	10^3-10^4

(Jiménez, 2001)

Para caracterizar el agua residual con vistas a su tratamiento es necesario una serie de análisis rutinarios principalmente químicos y microbiológicos y la presencia de organismos como huevos de helmintos y *Salmonella* revisten especial interés en países como el nuestro (Jiménez, 2001).

Por su parte, las aguas residuales municipales, también llamadas aguas negras, son una mezcla compleja de contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos. Las aguas negras proporcionan un ambiente ideal para una inmensa colección de microbios entre los que sobresalen los organismos patógenos.

En las poblaciones mexicanas de entre 2,500 y 10,000 habitantes, el volumen promedio de descarga es de 200 L/habitante/día. Por lo que toca a su depuración, de acuerdo con datos del Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, existen 938 plantas en operación (CNA, 2001).

De acuerdo con el Plan Hidráulico 1995-2000, se estima que el 53% del agua residual doméstica y el 29% de la industrial se vierten sin pasar por una planta depuradora; es decir, sólo una pequeña fracción (73,852 L/s) es tratada en el total

de plantas de tratamiento (64% de aguas municipales y 36% de industriales) (Jiménez, 2001).

Si bien en el sector agrícola, las aguas residuales pueden ser aprovechadas para abatir la demanda de este recurso, la utilización de aguas no tratadas presenta un alto riesgo de diseminación de enfermedades, ya que contienen el excremento de seres humanos y animales infectados, siendo una amenaza a la salud pública (Nebel y Wright, 1999).

Existen también aguas residuales industriales o desechos líquidos industriales, las cuales provienen de la industria y cuyas características dependen de la naturaleza propia de cada fábrica. Estas necesitan tratamientos particulares y no se abordan en este trabajo, ya que no contienen desechos humanos en los que están presentes los helmintos.

Particularmente en el caso de la ciudad de Querétaro, se genera un caudal total de aguas residuales de 1,693 L/s de los cuales un 89% corresponde a descargas domésticas y un 11% a vertidos industriales. La mayor parte de estas aguas se destinan al riego agrícola, lo cual constituye un alto riesgo para la salud de la población y el entorno ecológico de la ciudad (CEA, 1999). El aprovechamiento de estas aguas se ha venido dando mediante padrones de usuarios en riego agrícola, fundamentalmente en el cultivo de plantas de tallo largo (Cabrera y Rodríguez, 1997).

II.4 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

La necesidad del tratamiento de las aguas residuales surge en todos los países. El objetivo principal es eliminar o modificar los contaminantes perjudiciales para la salud humana o del entorno acuático, terrestre o aéreo. Para proteger los recursos hidráulicos se debe controlar la descarga de contaminantes en los mismos.

Un sistema de depuración se compone de la combinación de procesos y operaciones unitarias que tienen por objeto reducir compuestos hasta un nivel predeterminado (Jiménez, 2001).

Los contaminantes en general se eliminan de las aguas residuales en orden de dificultad creciente. Los procesos esenciales o convencionales que se llevan a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales se muestran en la figura 2.3 (Henry y Heinke, 1999). En estos métodos convencionales de tratamiento de agua residuales se acentúa la reducción o la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos en suspensión, en tanto que en el tratamiento para aprovechamiento se exige la eliminación de agentes patógenos como los helmintos, operación para la cual no son muy eficaces los métodos convencionales. El ingeniero que pretenda diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para fines de aprovechamiento debe saber hasta qué punto hay que eliminar los agentes patógenos excretados. Por tanto, cada sistema de aprovechamiento exige un objetivo relacionado con la calidad de las aguas residuales tratadas, en lo que respecta a la máxima concentración permisible de determinados microorganismos. Las directrices apropiadas para fines de diseño permitirán seleccionar la tecnología de tratamiento de aguas residuales y las técnicas administrativas de aprovechamiento que ofrezcan el grado de protección sanitaria que se necesite (OMS, 2002).

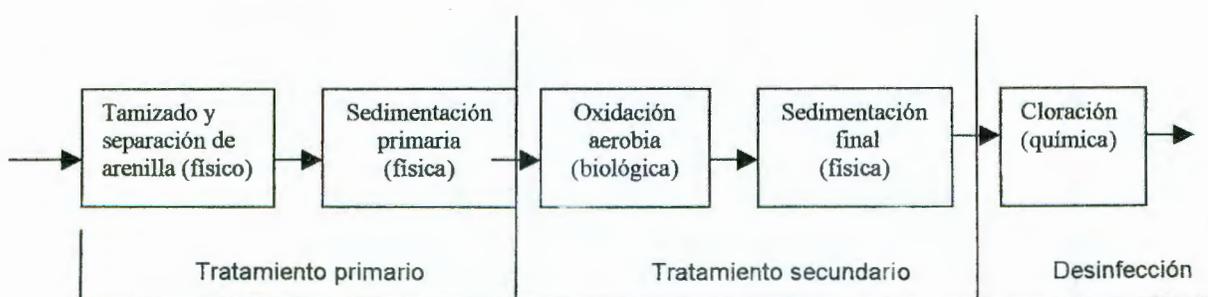


FIGURA 2.3 Procesos convencionales en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales

Sin embargo, la selección de los procesos y operaciones que conforman un sistema de tratamiento depende de:

- La composición del agua residual
- El caudal
- El uso del efluente tratado o del requerimiento normativo
- La compatibilidad entre los diferentes procesos y operaciones
- La disponibilidad de tecnología y del terreno
- La factibilidad económica de las diferentes combinaciones (construcción, operación y mantenimiento)

De lo anterior, se desprende que existe un gran número de posibilidades para tratar el agua, sin embargo no todas conducen a un proceso realmente eficiente e integral que tome en cuenta el tratamiento y la disposición de los subproductos generados (lodos).

La eliminación de contaminantes se realiza mediante procesos que se clasifican en dos grandes grupos: físico-químico y biológico.

CUADRO 2.5 Operaciones y procesos unitarios que se emplean para el tratamiento del agua

CONTAMINANTE	PROCESO/OPERACIÓN/SISTEMA
Sólidos suspendidos	Sedimentación, cribado, filtración, desarenación, flotación coagulación
Compuestos orgánicos biodegradables	Sistemas biológicos con biomasa suspendida y fija Filtración lenta
Patógenos	Cloración, ozonación, UV, radiación, desinfección solar, filtración lenta.
Nitrógeno	Nitrificación, desorción, cloración, intercambio iónico.
Fósforo	Precipitación, remoción biológica y precipitación química.
Compuestos orgánicos refractarios	Adsorción con carbón activado, ozonación.
Metales pesados	Precipitación, intercambio iónico
Sólidos disueltos	Procesos de membrana, intercambio iónico.

(Jiménez, 2001)

Las operaciones son sistemas en donde intervienen básicamente fuerzas físicas de separación, en tanto que los procesos que involucran cambios de estados de la materia, son aquellos que se obtienen por medios químicos o biológicos. Las combinaciones son múltiples y se agrupan, usualmente, por el tipo de contaminante que remueven según el cuadro 2.5 (Jiménez, 2001).

La importancia que ha tomado el problema de la contaminación del agua en nuestro país, ha permitido que el establecimiento y la ejecución de los reglamentos sobre efluentes haya progresado rápidamente como resultado del Estatuto del Agua Limpia. En efecto, así como cada salida de planta industrial tiene su licencia del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminación, también lo tienen las plantas municipales, que deben practicar un mínimo de tratamiento secundario de aguas negras antes de descargarlas en las corrientes receptoras. El tratamiento secundario restringe al efluente a 30 mL/L de sólidos suspendidos y 30 mL/L de DBO y exige que sea clorado para destruir los agentes patógenos (Jiménez, 2001).

Sin embargo, los huevos de helmintos y larvas, cuyo tamaño oscila entre 10 μm y 100 μm , resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales, aunque algunos huevos pueden ser removidos mediante procesos convencionales de tratamiento como sedimentación, filtración y lagunas de estabilización (Crites y Tchobanoglous, 2000).

En el cuadro 2.6 se da el porcentaje de eliminación de bacterias en cada proceso del tratamiento, el porcentaje de eliminación en el caso de huevos de helmintos es aún menor como lo afirma Jiménez (2001).

CUADRO 2.6 Eliminación o destrucción de bacterias por diferentes procesos de tratamiento.

PROCESO	% DE ELIMINACIÓN
Tamices de malla gruesa	0-5
Tamices de malla fina	10-20
Desarenadores	10-25
Sedimentación primaria	25-75
Precipitación química	40-80
Filtros percoladores	90-95
Lodos activados	90-98
Cloración de agua residual tratada	98-99

En el Estado de Querétaro se generan 99 Mm³ anuales de aguas residuales urbanas e industriales, solo en la ciudad de Querétaro son del orden de 53.4 Mm³. Se cuenta con ocho plantas de tratamiento para aguas urbanas, con una capacidad instalada de 705 L/s ubicadas en los municipios de Querétaro, Corregidora, Cadereyta, San Juan del Río y Tolimán, que representan el 40% del total. Están en proceso de construcción en los municipios de Pedro Escobedo y Colón, plantas adicionales que aumentarán la capacidad a 1 708 L/s. No obstante existen municipios como el de Amealco donde las aguas residuales captadas con la infraestructura del sistema de alcantarillado descargan a cielo abierto sin tratamiento alguno en bordos y en el Arroyo Colorado. En Huimilpan, las aguas residuales no tienen tratamiento y se usan para riego agrícola. En Colón la situación es semejante, las aguas negras no reciben tratamiento y descargan directamente al Arroyo de Colón. Los municipios de Jalpan y Tequisquiapan se encuentran en situación similar (CEA, 1999).

II.4.1 Desinfección

La desinfección es la inactivación o destrucción de microorganismos patógenos, tiene como objetivo reducir los coliformes fecales hasta menos de 1000

NMP/100mL en el agua residual. Un buen desinfectante debe ser tóxico para los microorganismos en concentraciones suficientemente bajas, pero inocuo para los humanos y animales.

Los desinfectantes que se emplean son los del grupo de los halógenos, el ozono o la plata. También se emplea la radiación gama o ultravioleta. La cloración, en América, es sinónimo de desinfección, mientras que en Europa la ozonación es la práctica común.

Los principales factores que influyen en la acción de un desinfectante son:

- Tiempo de contacto
- Tipo y concentración del agente químico
- Intensidad y naturaleza de los agentes físicos
- Temperatura
- Número y tipo de organismos

Su eficiencia se mide en la remoción de bacterias coliformes fecales (Jiménez, 2001).

Los principales mecanismos de desinfección utilizados son:

- Cloración
- Ozonación
- Radiación ultravioleta

Cloración:

La desinfección del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, generalmente por cloración, es deseable cuando existe un riesgo potencial para la salud. Sin embargo, la incertidumbre en cuanto a la existencia de un riesgo ha dado origen a una amplia variedad de prácticas.

El cloro es el producto químico más económico y de uso más frecuente para la desinfección de aguas residuales, aunque, por desgracia, produce ciertos efectos

colaterales indeseables. La materia orgánica presente se combina con el cloro para formar trihalometanos y otras sustancias orgánicas cloradas, algunas de las cuales son carcinógenos (Henry y Heinke, 1999).

Aunque la desinfección puede realizarse de varias formas, es común la aplicación de cloro a un estanque de retención con al menos un tiempo de reacción de 15 minutos. En algunos casos, éste proceso puede combinarse con descloración con el fin de eliminar las trazas de cloro residual que pudieran ser tóxicos para los organismos, debido como ya se dijo a la producción de sustancias orgánicas cloradas.

El cloro es un oxidante fuerte que se suministra en forma gaseosa o como soluciones de hipoclorito de sodio o de calcio y reacciona con el agua para formar ácido hipocloroso y clorhídrico. El ácido hipocloroso es el principal agente desinfectante que a su vez reacciona con el amoníaco para formar cloraminas que tienen también actividad desinfectante más lenta. Se deja siempre una cantidad excedente (cloro residual) para tener capacidad desinfectante en las tuberías.

En la práctica, la cloración del agua residual implica dosis que varían entre 10 y 30 mg/L, con tiempo de contacto de 30 min (Jiménez, 2001).

Ozonación:

El ozono, es de los germicidas más potentes y efectivos que junto con el cloro, se emplean comúnmente en el tratamiento del agua. Entre sus ventajas se tiene la elevada eficiencia para eliminar virus y quistes, la capacidad para controlar problemas de olor, sabor y color. Entre sus desventajas: se debe producir eléctricamente, no puede almacenarse y es difícil adaptarlo a las variaciones de carga y calidad del agua del influente. Por estas razones, su aplicación es más bien limitada. El mecanismo de desinfección del ozono es la oxidación citoplasmática completa de los virus y las bacterias, proporciona una actividad germicida rápida y buena capacidad viricida, mejora el sabor, color y olor del agua.

En cambio, el cloro tiene capacidad germicida constante y tiene actividad persistente aún en el sistema de distribución, por lo que, la combinación de ambos compuestos puede resultar ideal para desinfección. La dosis para desinfección de agua residual es alrededor de 40 mg/L (Jiménez, 2001).

Radiación Ultravioleta:

La luz solar es un buen desinfectante debido a la radiación ultravioleta (UV), la eficiencia del proceso depende de la penetración del rayo dentro del agua. La desinfección del agua residual mediante radiación ultravioleta es una técnica relativamente nueva que provee buena eficiencia y con costo relativamente bajo. Existen diferentes medios para generar rayos con longitud de onda de 240-270 nm asegurando el tiempo de contacto con consumo mínimo de energía. Las lámparas de baja presión de mercurio emiten radiación monocromática de 253.7 nm, que es la óptima para desinfectar y son las más usadas en plantas de tratamiento. La dosis de UV aplicada por bacteria se define como la energía aplicada por unidad de superficie durante un periodo determinado (Jiménez, 2001).

CUADRO 2.7 Comparación de los principales métodos de desinfección

VARIABLE	RAYOS UV	OZONO	CLORO
Tiempo de contacto	1 a 10 s	10 a 20 min	30 a 50 min.
Tanque de reacción	ninguno	requerido	requerido
Mantenimiento	mínimo	considerable	mediano
Instalación	sencilla	complicada	complicada
Influencia de: Materia suspendida Temperatura pH	alta ninguna ninguna	alta alta baja	alta alta alta
Residuos en el agua	nulo	mínimo	presentes
Influencia del agua	nula	presente	presente
Corrosión	ninguna	presente	presente
Toxicidad	bajo	alto	bajo

La radiación UV tiene como inconveniente el de no proporcionar un poder desinfectante residual, además de que no se puede establecer fácilmente la eficiencia del proceso. Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. No se ha llegado a un acuerdo sobre la dosis de UV mínima requerida, según las características del agua pueden ser determinadas en el laboratorio, todavía se encuentran en investigación y su aplicación es poca (Hernández, 2001).

Las diferencias paramétricas entre las diferentes técnicas utilizadas en la desinfección del agua se muestran en el cuadro 2.7 (Jiménez, 2001).

II.5 REUSO DEL AGUA

En la naturaleza, los recursos hidráulicos rara vez existen cuando y donde se les necesita. La sana administración de estos recursos requiere tanto del control del flujo de agua, como de su tratamiento y reuso.

Una opción para satisfacer la demanda se basa en un mayor reciclado y reuso del agua utilizando sistemas de purificación tanto artificiales como naturales, antes de que ésta se pierda por evaporación o regrese a la reserva oceánica. Con éste enfoque de reutilización, el agua vuelve a recircularse como un subciclo del ciclo hidrológico global. Este principio se hará más indispensable a medida que las fuentes de agua dulce se hagan más inaccesibles (Henry y Heinke, 1999).

La reutilización del agua permite compaginar las necesidades de desarrollo planteadas por la industria, la agricultura y los asentamientos humanos en lugares donde este recurso es escaso. Sin embargo, para propiciar el reuso, el gobierno debe desarrollar criterios estrictos de descarga de agua residual, pero principalmente, cobrar el precio "real" del agua; es decir, que incluya los costos de: disponibilidad, extracción, potabilización, transporte, distribución, drenaje,

tratamiento y disposición. Lo difícil es sin embargo, modificar la actitud del público y que pase de la indiferencia a la concientización de su responsabilidad en la preservación del recurso.

No obstante que el reúso ha sido una práctica muy antigua, que se daba en forma inconsciente, la necesidad del reúso intencional aumenta día con día en diversas regiones del mundo. Ésta es sin duda la clave para el manejo eficiente y efectivo del recurso hídrico y para equilibrar la oferta y la demanda (Jiménez, 2001).

En la actualidad se utiliza una gran cantidad de agua potable en el riego agrícola, mantenimiento de complejos habitacionales y comerciales, clubes deportivos, etc. lugares que podrían utilizar sus propias aguas residuales tratadas para el riego de sus áreas verdes, ahorrando así una cantidad considerable de agua potable, misma que debería destinarse principalmente al abastecimiento de la población.

Aunque las aguas domésticas contienen una significativa carga orgánica, concentración alta de sales (principalmente sodio y potasio) y una carga alta bacteriana, se pueden tratar de tal forma que sean aptas para el riego de áreas verdes, en la agricultura, industria y para recargar los acuíferos (Cabrera y Rodríguez, 1997).

La superficie con riego en el Estado de Querétaro, tanto con agua superficial como subterránea, según datos proporcionados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGDR) y la Comisión Nacional del Agua (CNA), es de 60,000 hectáreas. Este riego se realiza mediante 1,018 pozos profundos y 95 presas de almacenamiento y bordos (CEA, 1999).

II.4.3 Reuso del agua tratada Municipal

Dependiendo del uso del agua se pueden distinguir dos niveles de calidad: de muy buena calidad para emplearla en el consumo humano o recarga de acuíferos, y de bajo nivel para riego de áreas verdes, relleno de lagos recreativos, lavado de calles, control de incendios y otros (Jiménez, 2001).

En México, las aguas residuales de muchas ciudades fueron concesionadas a los agricultores antes de que la Ley Federal de Derechos de Agua las especificara y regulara como tales. Dada la preferencia de los agricultores por aguas negras sobre el agua clara, por su cualidad de fertilizante, la práctica común y extensiva es la de aprovechar las aguas residuales en el riego de productos agrícolas. Actualmente, la norma NOM-001-ECOL/1997 regula esta práctica, especificando el control de los contaminantes de acuerdo al reuso, sancionando cuando no se cumpla con ellas por medio de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Aunque no hay datos exactos del volumen empleado en el país, al menos el 26% del agua residual municipal generada se aprovecha en la agricultura (Jiménez, 2001).

La finalidad del reuso del agua es manejar solo agua tratada; esto quiere decir que en un sistema moderno ideal todas las aguas residuales se recogen de manera separada de las de lluvia y se tratan por completo para eliminar los contaminantes que acarrearán antes de descargarlas ó reutilizarlas. El progreso a esta meta ha sido sin embargo desigual; innumerables comunidades siguen vertiendo sus aguas negras sin tratar en las corrientes y cuerpos de agua superficiales (Nebel y Wright, 1999).

Con respecto a la Zona Metropolitana de la Ciudad de Querétaro, las aguas tratadas se aprovechan a partir de la planta de tratamiento Centro, de donde se envía un caudal promedio de 60 L/s hacia terrenos de cultivo y la producción restante de agua tratada se destina, a través de pipas, al riego de áreas verdes de

la ciudad. Se reusan también las aguas crudas en los ejidos Modelo y El Pueblito, tomándola directamente de los emisores de la zona sur, centro y norte, de la ciudad, ocasionando insuficiencia de influentes a la planta de tratamiento Sur y la contaminación de los terrenos de cultivos, sus productos y también de la periferia del casco urbano en esa zona. Se debe señalar que la infiltración de esta agua cruda de riego hacia terrenos en los que los niveles del acuífero se encuentran a muy poca profundidad, pone en riesgo de contaminación al mismo en las zonas donde su explotación abastece la zona céntrica de la metrópoli (CEA, 1999).

CUADRO 2.8 Guía de calidad microbiológica recomendada por la Organización Mundial de la Salud para uso del agua residual en agricultura.

CATEGORIA	CONDICIONES DE REUSO	GRUPO EXPUESTO	NEMATODOS INTESTINALES No. de huevos por litro.	COLIFORMES FECALES NMP por litro
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de golf y parques públicos.	Trabajadores, consumidores y público en general.	<1	<1000
B	Riego de cultivos como cereales, cultivos industriales, forrajeros y árboles	Trabajadores	<1	Estándar no recomendado
C	Irrigación de localidades para los cultivos de la categoría B, pero la exposición de trabajadores y público nunca ocurre.	Ninguno	No aplicable	No aplicable

Por lo que toca a los criterios microbiológicos recomendados por la OMS para el agua residual destinada al reuso agrícola, el cuadro 2.8 muestra los parámetros recomendados (Jiménez, 2001).

II.5 LODOS DE DESECHO

El lodo es un subproducto de la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales, cuya evacuación se realiza mediante vertimiento a la tierra, entierro, incineración o descarga al mar. El lodo de tratamiento de aguas negras es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo y puede emplearse en agricultura o como fertilizante de estanques empleados en acuicultura (OMS, 2002).

Todos los procesos de tratamiento de aguas residuales producen, en mayor o menor grado, alguna forma de lodo, conocido como el "concentrado de contaminación". Su tratamiento y disposición es el mayor problema en el tratamiento de las aguas residuales. Casi la mitad del costo del saneamiento de aguas negras está concentrado en el tratamiento y disposición de los lodos de desechos.

La principal preocupación es estabilizarlos, para reducir su actividad biológica, su tendencia a la putrefacción y por otro lado, controlar su contenido de organismos causantes de enfermedades.

Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método último de disposición a la que se destinan los lodos (Winkler, 1986)

En el tratamiento preliminar, el objetivo principal es reducir el volumen a manipular por lo que se trata de un "espesamiento", donde la concentración de sólidos en los lodos se duplica. Los métodos más usados son: el espesamiento por gravedad y por flotación con aire disuelto.

En el espesamiento por flotación se usa aire para impulsar a los lodos a que floten, por lo que los lodos procedentes de un proceso de aeración prolongada pueden ser suficientemente estables y concentrados después del espesamiento para que puedan utilizarse como fertilizantes. En el espesamiento por gravedad se requiere después de una digestión anaeróbica para lograr la estabilización de los lodos, se trata de tanques similares a los sedimentadores (Winkler, 1986).

De los principales sistemas aerobios de tratamiento de agua se produce "lodos" como subproducto, éstos provienen ya sea de los sólidos presentes en el agua residual o bien, por formación de nuevos, como resultado de la digestión de los sólidos disueltos y coloidales por los microorganismos. En estos lodos se concentran todos los contaminantes extraídos al agua y deben ser regresados al medio ambiente, pero sin alterar los ecosistemas.

En el tratamiento de las aguas de desecho municipales, algunos contaminantes se consumen realmente (como es la reducción de la DBO), pero una porción importante simplemente se convierte en desechos sólidos. Cuando éstos son removidos del agua se vuelven lodos subproductos de los que hay que deshacerse. Los procesos de tratamiento de aguas residuales que permiten remover los huevos de helmintos por sedimentación harán que se concentren en el lodo, donde permanecen viables hasta por un año. Todos los demás agentes patógenos que contienen las aguas residuales se concentrarán también en el lodo. Para que el lodo que contiene huevos de helmintos sea inocuo para su uso general, se debe guardar por un período prolongado (por ejemplo, secarse al sol por 6 a 12 meses en una zona de clima cálido) o someterse a alguna forma de tratamiento que eleve la temperatura lo suficiente para eliminar los huevos y, en

particular, los de la especie *Áscaris*, que son los más persistentes en todos los patógenos fecales que contiene el lodo (OMS, 2002).

El primer paso en la disposición es la estabilización de los lodos para eliminar olores y organismos patógenos. En la mayor parte de las plantas se usan digestores aerobios o anaerobios para alcanzar este proceso. Después de la estabilización, los lodos se concentran y desecan antes de disponerlos finalmente en un relleno sanitario o por medio de incineración. Continuamente se investigan nuevos procesos para usar estos lodos de desecho. Durante años se han empleado como complemento del suelo en céspedes y terrenos agrícolas. También encuentra uso como combustible y como materia prima para ser convertido en carbón activado (Nalco, 1990).

CUADRO 2.9 Métodos de tratamiento y evacuación de fangos.

OPERACIÓN UNITARIA O MÉTODO DE TRATAMIENTO	FUNCIÓN
<u>Operación de pretratamiento:</u> Trituración Desarenado Mezclado Almacenamiento	Reducción de tamaño Eliminación de arenas Mezclado Almacenamiento
<u>Espesamiento:</u> Por gravedad Por flotación Por centrifugación	Reducción del volumen
<u>Estabilización:</u> Oxidación con cloro Estabilización con cal Tratamiento térmico Digestión anaerobia Digestión aerobia	Estabilización Estabilización Estabilización Estabilización, reducción de masa Estabilización, reducción de masa
<u>Acondicionamiento:</u> Acondicionamiento químico Elutriación Tratamiento cabeza	Acondicionamiento del fango Lixiviación Acondicionamiento del fango
<u>Desinfección:</u> Productos químicos Temperatura	Desinfección
<u>Deshidratación:</u> Filtro de vacío Filtro prensa Filtro de banda horizontal Centrífuga Lecho de secado	Reducción de volumen

El lodo resultante de las operaciones y procesos de tratamiento se presenta generalmente en forma de líquido o líquido semisólido que contiene normalmente entre el 0.25 hasta el 12 % de sólidos, este porcentaje varía dependiendo de las operaciones y procesos utilizados. Los métodos principalmente utilizados para el procesado y evacuación de los lodos se resumen en el cuadro 2.9 (Metcalf y Eddy, 1994).

CUADRO 2.10 Cantidad y calidad de los lodos producidos por diferentes procesos

PROCESO	Lodos producidos por millón de litros de agua		CARACTERÍSTICAS		
	Volumen	Contenido de sólidos en seco	Humedad relativa del líquido	Densidad relativa del líquido	Densidad relativa del sólido
Sedimentación primaria					
• Sin digerir	2.95	150	95	1.02	1.4
• Con digestión	1.45	90	94	1.03	-
Digestión y drenados en lechos de secado	-	90	60	-	-
Lodos activados	19.4	290	98.5	1.005	1.25
Sedimentación primaria más lodos activados					
• Sin digerir	6.9	280	96	1.02	-
• Con digestión	2.7	170	94	1.03	-
Digeridos y drenados en lechos de arena	-	170	60	-	-

(Jiménez, 2001)

La cantidad y calidad de lodos producidos por diferentes procesos se resumen en el cuadro 2.10. Los cálculos se basan en que cada persona descarga 370 L de aguas negras con un contenido de sólidos de 300 mg/L. En general, la cantidad de lodos producidos por un sistema de tratamiento depende de su naturaleza y decrece en el orden siguiente: procesos físico-químicos, sistemas biológicos aerobios y sistemas biológicos anaerobios (Jiménez, 2001).

Así como el tratamiento de aguas residuales es una de las muchas medidas posibles de protección de la salud, el tratamiento del lodo se puede combinar o

reemplazar con otras medidas de protección para evitar que su aprovechamiento transmita enfermedades infecciosas (OMS, 2002).

La calidad de los lodos crudos en algunas ciudades de México se presenta en el cuadro 2.11 (Jiménez, 2001).

CUADRO 2.11 Comparación de las características físicas y microbiológicas de lodos crudos primarios de algunos lugares de México

POCEDENCIA DEL LODO	SÓLIDOS TOTALES (ST) (%)	SÓLIDOS VOLÁTILES (%)	SÓLIDOS FIJOS (%)	COLIFORMES FECALES (NMP/g ST)	HUEVOS DE HELMINTOS (HH/g ST)
Gran canal de la Cd. de México	5.8	42.8	47.2	5.5 E 7	36
Drenaje profundo de la Cd. de México	5.2	58.3	41.4	3.08 E 11	150
Lodos biológicos (Guadalajara)	0.53	49.73	51.37	4.13 E 7	120
Lodos fisicoquímicos (Guadalajara)	2.48	39.6	60.39	3.8 E 10	160

(Jiménez, 2001)

II.5.1 Tratamiento de lodos (transformación).

Los aspectos a contemplar en relación con los lodos de las depuradoras son:

- Grandes concentraciones humanas y por consecuencia grandes volúmenes de lodos arrastrados por las aguas negras hacia las plantas tratadoras.
- Variación de los contenidos orgánicos e inorgánicos dependiendo del tipo de población, de su nivel de vida, del consumo y otros.
- Las exigencias de calidad ambiental sobre las necesidades de tratamiento y eliminación de lodos.
- La escasez de recursos, como los abonos y recursos energéticos que obliga a replantearse la necesidad de reutilización de subproductos.
- Procesos diferentes de depuración de las aguas residuales dan origen a distintos tipos de lodos.

- La normativa existente, considerando los aspectos sanitarios, sobre el hombre, los cultivos y el medio ambiente; condicionará el proceso de tratamiento en sí, su eliminación o reutilización.
- Los aspectos económicos: obras e instalaciones, gastos de mantenimiento, gastos de gestión y control influyen en la solución a adoptar.

Considerando los puntos anteriores puede decirse que el tratamiento de los lodos y su destino final constituyen el punto fundamental a contemplar en el proyecto de una planta depuradora (Hernández, 2001).

Las características de los tratamientos más comunes en plantas municipales son: Espesamiento de lodos por gravedad. El objetivo es duplicar el contenido de sólidos de los lodos reduciendo su volumen a la mitad. Se lleva a cabo en tanques más profundos que los clarificadores secundarios para garantizar una mayor capacidad de espesamiento. Convencionalmente, tiene un brazo sumergido para dar agitación horizontal y desprender el agua de los flóculos de lodos.

Digestión anaerobia. Se usa comúnmente para lodos del sedimentador primario que contienen elevadas concentraciones de materia orgánica, ya que al tratarse en condiciones aerobias induciría un rápido crecimiento de la biomasa y elevado consumo de oxígeno. La función es convertir los lodos en productos finales como líquidos (70%) y gases (Metano y CO₂, 30%).

Digestión aerobia. Los digestores aerobios son aplicables a los lodos producto de tratamientos biológicos. Son relativamente inertes pero tienen alto contenido de agua. La reducción del contenido de humedad se logra por centrifugado, filtración ó lechos de secado.

Estabilización química. Consiste en el uso de compuestos como la cal y cloro. La cal, se agrega para aumentar el pH hasta 12 o más en un tiempo de contacto adecuado para inactivar o destruir patógenos. Existen dos formas de estabilización

química: en la primera, la cal se adiciona antes del desaguado junto con sales de aluminio y de fierro; en la segunda, la cal se añade a la pasta obtenida después del proceso de desaguado. Se usa principalmente cal viva, la dosis se obtiene mediante la experimentación, ya que existen muchos factores que la modifican, como el contenido de sólidos. Los lodos estabilizados con cal tienen apariencia granular y presentan 50% de sólidos lo cual los hace de fácil manejo. La estabilización con cal es uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de lodos.

CUADRO 2.12 Ventajas y desventajas de los principales procesos de estabilización de lodos

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Digestión anaerobia	<p>Buena reducción de SSV (40 a 60%).</p> <p>Los costos de operación pueden ser bajos si se utiliza el gas metano.</p> <p>Amplia aplicación</p> <p>Los sólidos obtenidos son apropiados para uso agrícola.</p> <p>Buena reducción de patógenos</p> <p>Reducción de la masa total</p> <p>Bajos requerimientos netos de energía</p>	<p>Requiere que los operadores sean experimentados.</p> <p>Pueden formarse espumas.</p> <p>Los organismos metanogénicos pueden crecer lentamente e "digestores ácidos".</p> <p>Se recobra lentamente después de un colapso.</p> <p>Sobrenadante con alto contenido de DQO, DBO, SST y amoniaco,</p> <p>La limpieza es difícil</p> <p>Puede generar olores desagradables</p> <p>Alto costo inicial</p> <p>Incrustación potencial de minerales</p> <p>Medidas de seguridad por la producción de gas inflamable</p>
Digestión aerobia	<p>Bajo costo inicial, particularmente para plantas pequeñas.</p> <p>El sobrenadante es de menos calidad que el anaerobio.</p> <p>Control operacional simple.</p> <p>Amplia aplicación</p> <p>Bajo potencial de producción de olores con diseño y operación apropiados.</p> <p>Reduce la masa total</p>	<p>Alto costo de energía</p> <p>Generalmente menor reducción de SSV que en anaerobia</p> <p>Alcalinidad y pH reducidos</p> <p>Se pueden formar espumas</p> <p>Potencial dispersión de patógenos por formación de aerosoles.</p> <p>El lodo es típicamente difícil de desaguar mecánicamente</p> <p>Las bajas temperaturas afectan adversamente la eficiencia</p>
Estabilización con cal	<p>Bajo costo.</p> <p>Fácil operación.</p> <p>Bueno como método emergente de estabilización</p>	<p>El lodo es apropiado, principalmente, para aplicación en suelos ácidos.</p> <p>Incrementa la masa de sólidos</p>

(Jiménez, 2001)

En el cuadro 2.12, se muestran las ventajas y desventaja de cada método. En la estabilización con cal, sobresale la ventaja del bajo costo de inversión inicial y el gasto de energía, así como su fácil manejo (Jiménez, 2001).

II.5.2 Biosólidos

Cuando los lodos provienen de plantas de tratamiento de agua residual municipal y han sido tratados (estabilizados o digeridos) se les denomina biosólidos y pueden ser entonces usados como mejoradores del suelo. El contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo de los biosólidos resulta benéfico para el suelo, siempre y cuando se les aplique de manera adecuada y según las necesidades de éste último.

Entre los efectos favorables que puede tener están:

- Mejora de la estructura física
- Incrementa la retención del agua
- Favorece el desarrollo de la vegetación
- Favorece el intercambio de aire a las raíces de las plantas
- Promueve el crecimiento de plantas más fuertes
- Disminuye el daño causado por los insectos

La palabra biosólido fue creada por la EPA en 1994. Este nombre refleja la tendencia actual de considerarlos más como un subproducto susceptible de revalorización que como un desecho. Su aplicación depende del contenido de elementos químicos y de microorganismos patógenos en cantidad y calidad. En 1998 la definición se amplió, de los biosólidos a los lodos residuales que han sido procesados con el fin de usarlos como mejoradores del suelo.

Sin embargo, el contenido de organismos patógenos es una de sus limitantes más importantes para su manejo, ya que puede provocar problemas sanitarios. Este

contenido depende de la naturaleza de sus constituyentes orgánicos, la concentración de nutrientes, los factores de crecimiento y de la toxicidad de los materiales. El tipo y cantidad de microorganismos patógenos en un lodo depende, básicamente, del estado epidemiológico de la comunidad de donde proviene (Jiménez, 2001).

La disposición superficial de biosólidos consiste en colocarlos en un área de suelo para su disposición final, material que puede ser posteriormente utilizado.

Las formas de disposición incluyen:

- Monodépósitos; rellenos donde exclusivamente se colocan biosólidos, incluyen zanjas y áreas abiertas.
- Embalses y lagunas; se emplean para biosólidos con alto contenido de agua.
- Pilas; montículos de biosólidos desaguados colocados sobre el suelo
- Sitios específicos de disposición; reciben varias capas de biosólidos para almacenarlos.

Existen también la disposición de lodos en rellenos sanitarios, para casos donde los lodos digeridos o estabilizados y secos contienen cantidades excesivas de metales y tóxicos, enterrándose en sitios especiales (Jiménez, 2001).

Los organismos patógenos cuando se encuentran en los lodos y son expuestos al ambiente perecen en tiempos variables como resultado del calor, luz solar y la desecación. Sin embargo, algunos son resistentes por lo que el control de riesgo microbiológico se efectúa con base en las bacterias, virus y huevos de helmintos por ser éstos de mayor resistencia a los factores ambientales tal y como se observa en el cuadro 2.13 (Henry y Heinke, 1999).

CUADRO 2.13 Tiempo de sobrevivencia de los patógenos

ORGANISMOS	SUELO		VEGETACIÓN	
	Máximo absoluto	Máximo común	Máximo absoluto	Máximo común
Bacterias	1 año	2 meses	6 meses	1 mes
Virus	1 año	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes protozoarios	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

NOTA: Los periodos pueden aumentar si hay condiciones climáticas favorables.

II.5.3 Aplicación de los biosólidos en suelos

El término aplicación significa que los biosólidos se colocan en los suelos para obtener ventaja de su contenido de nutrientes o de sus propiedades para mejorar suelos. Existen dos grupos de suelos a los que se pueden aplicar los biosólidos:

- Suelo agrícola (pastizales o cultivo), forestal y sitios de acondicionamiento (campos minados y sitios de construcción), aeropuertos.
- Parques públicos, invernaderos, viveros, campos de golf, cementerios, prados y jardines familiares

Los biosólidos pueden distribuirse a granel o en bolsas u otros contenedores para su aplicación.

En México, es escasa la normatividad federal y más aún la estatal que regula el tratamiento y disposición de los sólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales. Por lo general, se considera que los lodos que se generan durante el tratamiento de las aguas residuales son residuos peligrosos y en consecuencia deben ajustarse a las regulaciones que al respecto emite el Instituto Nacional de Ecología (INE). La idea del uso benéfico de los lodos provenientes de aguas residuales domésticas y el empleo del concepto biosólido no se aplica aún a pesar de la marcada tendencia internacional para hacerlo. Cabe mencionar que actualmente se lleva a cabo una revisión para normar el tratamiento de lodos y favorecer su reúso empleando como base la reglamentación de la EPA (Jiménez, 2001).

III. ELIMINACIÓN DE HELMINTOS POR MÉTODOS BIOLÓGICOS

III.1 ORIGEN DEL PREPARADO BINGSTI

En Rusia, en los últimos años, se ha elaborado y puesto en práctica un método avanzado y ecológico para la eliminación de helmintos de aguas residuales, de los lodos residuales y de suelos contaminados. Este método utiliza un preparado de origen vegetal conocido con el nombre de BINGSTI (Grimaylo y *col*, 1990), palabra que se deriva de las primeras letras que marcan el sentido de la acción que desarrolla el preparado: B-Biológico, ING- *inhibición*, STI- *estimulación*.

El preparado se produce con brotes secos de papa (de tipos específicos) (Grimaylo y *col*, 1990), o de tallo seco de jitomate (Serpokrilov y *col*, 1999,a). Para elaborar el preparado, los brotes y tallos se secan, luego se cortan y muelen hasta obtener tamaños de 30 a 50 micras. El preparado resultante, es un polvo de color gris verdoso o marrón, soluble en agua y que conserva su actividad durante dos años una vez que es activado.

La investigación de la influencia del preparado BINGSTI sobre helmintos, se realizó tanto en laboratorios como en plantas de tratamiento de aguas residuales. Se utilizaron como prueba, huevos de *Áscaris*, los cuales como es sabido, son los más estables de todos los tipos de helmintos en el medio ambiente. En la primera etapa se ensayó en el laboratorio, dosis y tiempo de contacto del preparado con los huevos de helmintos en modelos de aguas residuales, aumentando artificialmente los huevos de áscaris en 200 unidades por litro. En la segunda etapa se ensayó en campo, directamente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, el nivel de deshelmintación mediante el preparado, ajustando con los resultados con los obtenidos en el laboratorio.

El mecanismo de supresión de huevos de helmintos (*Ascaris*), muestra que para dosis de 10^{-5} a 10^{-4} y con un tiempo óptimo de contacto del preparado con el agua de 8 horas, se observa la *inhibición* del desarrollo de huevos, disminuyendo su tamaño y no pudiendo formarse las larvas por lo que finalmente muere el huevo. Por el contrario con dosis de 10^{-9} a 10^{-7} se observa una *estimulación* acelerando el crecimiento de los huevos, formando rápidamente las larvas. Sin embargo, las condiciones ambientales en que se encuentran (ya que solo pueden vivir dentro de un huésped de sangre caliente) no resultan favorables a éstas, por lo que, también perecen. El sustento científico del método BINGSTI no ha sido lo suficientemente desarrollado, es necesario conocer más a cerca de los procesos bioquímicos que actúan sobre las células de los parásitos.

De estas experiencias se obtuvo una dosis óptima del preparado que varía de 10^{-8} a 10^{-9} mg/L durante 8 a 10 horas de contacto, obteniendo una eficiencia en la deshelmintación de más del 99%. Comparando este tipo de deshelmintación con los tratamientos convencionales utilizados en las plantas de tratamiento, que no es más del 10%, los resultados son altamente satisfactorios.

En una planta de tratamiento, la mayor cantidad de huevos de helmintos precipitan en los sedimentadores de diferentes tipos, por lo que son eliminados de las aguas residuales; sin embargo, éstos se concentran en los lodos primarios y secundarios de los sedimentadores. Al ser estabilizados estos lodos, si se efectúa por un proceso aeróbico, llegan a perecer no más del 50% y por un proceso anaerobio durante 5 días, no más del 30%. Sin embargo, mediante la introducción del preparado, la deshelmintación resulta total después de 8 ó más horas de contacto con los lodos.

Es necesario notar que la deshelmintación de las aguas residuales y los lodos, se efectúa en un tiempo de estancia que resulta adecuado al funcionamiento de las plantas de tratamiento. Los resultados obtenidos se han puesto en práctica en

varias plantas de tratamiento en Rusia, confirmándose en todos los casos excelentes niveles de deshelmintación (véase el cuadro 3.1).

CUADRO 3.1 Aplicación del preparado Bingsti en diferentes plantas de tratamiento en Rusia

CIUDAD	GASTO DE AGUAS RESIDUALES m ³ /día	TIEMPO DE OBSERVACIÓN	DOSIS ÓPTIMA mg/L	TIEMPO DE CONTACTO hrs.	EFICIENCIA DE DESHELMINTACIÓN %
Usti-Labinsk	7,500	4 años	10 ⁻⁷	8.5	99.6
Rostov en Don	10,000	3.5 años	10 ⁻⁸	10.0	99.8
Novocherkassk	35,000	2 meses	10 ⁻⁹	7.5	99.7
Moscú	2 500,000	2 semanas	10 ⁻¹⁰	8.0	99.8

(Serpokrilov y col, 1999)

En las experiencias rusas, las dosis del preparado para deshelmintación variaron según la salinidad de las aguas y de la relación de aguas domésticas e industriales.

Finalmente, el uso de aguas residuales tratadas mediante el preparado han sido utilizadas en la agricultura y no se han descubierto huevos vivos de helmintos en pruebas de suelos y de plantas (Serpokrilov N. y col, 1999).

En que magnitud, la aplicación del preparado en el agua tratada cuyo destino sea el riego agrícola, puede o no tener efectos secundarios en la cadena alimenticia de los microorganismos presentes en el suelo o que efecto puede tener en microorganismo indicadores de contaminación?

Para abordar estos aspectos, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio en Rusia por el director de ésta tesis. Los resultados que se muestran a continuación se enfocan a identificar la influencia del preparado en procesos naturales de tipo químico-biológico.

III.2 INFLUENCIA DEL PREPARADO "BINGSTI" EN LA VIABILIDAD DE MICROORGANISMOS.

Las actividades microbianas se ven muy afectadas por las condiciones fisicoquímicas del ambiente. No todos los organismos responden igual a un factor ambiental determinado, por lo que, una condición ambiental puede ser dañina para un organismo y beneficiosa para otro. Los organismos pueden tolerar algunas condiciones adversas, que rebasadas, no les permiten crecer y por lo tanto debemos distinguir entre las condiciones ambientales y sus efectos sobre la viabilidad y su reproducción. Ya que el ambiente puede afectar significativamente sus capacidades metabólicas y su crecimiento (Madigan y col., 2000).

En este apartado se aborda el efecto del preparado sobre la supervivencia, crecimiento o eliminación de distintos microorganismos utilizados generalmente como indicadores de contaminación ambiental.

Como representantes de estos microorganismos se eligieron:

- *Escherichia coli* – el microorganismo de palos gramnegativos facultativos anaeróbicos, este es un índice de contaminación de origen fecal en aguas y suelos;
- *Enterococcus faecalis* y *Enterococcus faecium* - son microorganismos de coccus grampositivos, son también índice de contaminación fecal en aguas y suelos;
- Virus – el bacteriofago de *Escherichia coli* MS-2 destacado a RNK viruses, existente tanto en aguas como en suelos;
- *Bacterium cereus* – microorganismo de esporas aeróbico, también existente tanto en aguas como en suelos, sin embargo es más común su desarrollo en suelos.

Estos microorganismos se cultivaron de acuerdo a técnicas microbiológicas de cultivo. Los resultados de la investigación se presentan en las tablas 3.2 a 3.6,

señalando en cada caso si hay o no influencia del preparado en el crecimiento o eliminación de éstas bacterias, y para diferentes dosis de aplicación.

Los resultados sobre *E. coli* mostraron (cuadro 3.2) que en el primer día la cantidad de microorganismos disminuye en todas las dosis. Sin embargo, después de 2 días, el preparado estimula el crecimiento de *E. coli*, ya que ésta usa la materia orgánica del preparado como alimento. En dosis de 10^{-6} y menos, no hubo influencia en el desarrollo de *E. coli*. Se puede concluir por tanto, que la aplicación del «BINGSTI» en dosis 10^{-6} y menores, no habrá influencia negativa en lodos de aguas residuales y si una influencia positiva al tratamiento, ya que el tiempo de retención en tanques de la planta de purificación de aguas casi siempre es menor o cerca de 1 día.

CUADRO 3.2 Influencia del preparado "BINGSTI" en la cantidad de *E. coli* (colonias por mililitro)

DOSIS	CANTIDAD DE <i>E. coli</i> INICIAL	TIEMPO DE MUESTREO (días)			
		0	1	2	7
10^{-2}	270	170	0	1 0000	1 000000
10^{-3}	272	190	30	800	700000
10^{-4}	270	190	10	510	40000
10^{-5}	269	140	130	60	1000
10^{-6}	270	-	-	-	30
10^{-7}	270	130	100	80	20
10^{-8}	275	-	-	-	20
10^{-9}	269	160	140	150	20
Control (sin preparado)	270	270	140	140	20

(Serpokriiv y col, 2001)

Particularmente para el caso de la *E. coli*, el resultado es sumamente contrastante para dosis entre 10^{-2} a 10^{-4} en el segundo día, ya que el preparado estimula la actividad de la bacteria, notándose un incremento considerable.

En el caso del *Enterococcus* (cuadro 3.3) podemos observar que la aplicación del preparado "BINGSTI" disminuye el crecimiento en dosis entre 10^{-6} y 10^{-3} en comparación con las muestras de referencia (control), así como con las dosis

restantes. Observe como después de 7 días de muestreo, el número de colonias es prácticamente cero. Esto significa que la introducción del preparado "BINGSTI" en aguas tratadas tiene con las dosis indicadas un efecto positivo.

CUADRO 3.3 Influencia del preparado "BINGSTI" en la cantidad de *Enterococcus* (colonias por mililitro).

DOSIS	CANTIDAD DE <i>Enterococcus</i> INICIAL	TIEMPO DE MUESTREO (días)			
		0	1	2	7
10^{-1}	148	120	2000	4000	5000
10^{-2}	139	100	400	1000	2000
10^{-3}	140	92	0	0	0
10^{-4}	142	90	18	10	2
10^{-5}	138	98	11	10	1
10^{-6}	129	84	90	400	800
10^{-7}	142	77	170	1120	1500
10^{-8}	130	78	100	1000	1200
10^{-9}	136	74	90	800	1200
Control	140	140	200	1080	1600

(Serpokrilv y col, 2001)

Con relación a la influencia del preparado sobre la cantidad de Colifagos (cuadro 3.4), se observa que para todas las dosis utilizadas, el número de colonias disminuye desde el primer día, lo que significa una contribución positiva en contra de los virus.

CUADRO 3.4 Influencia del preparado "BINGSTI" en la cantidad de Colifagos (colonias por mililitro)

DOSIS	CANTIDAD DE Colifagos INICIAL	TIEMPO DE MUESTREO (días)			
		0	1	2	7
10^{-1}	1250	1250	500	200	7
10^{-3}	1200	1260	250	45	9
10^{-5}	1200	1200	180	90	9
10^{-7}	1200	1200	185	57	5
10^{-9}	1200	1220	200	80	3
Control	1200	1200	420	60	9

(Serpokrilv y col, 2001)

CUADRO 3.5 Influencia del preparado "BINGSTI" en la cantidad de *B. cereus* (forma vegetativa) (colonias por mililitro).

DOSIS	CANTIDAD DE <i>B. cereus</i> INICIAL	TIEMPO DE MUESTREO (días)			
		0	1	2	7
Nativos	540	128	94	184	190
1:1	526	124	116	160	212
1:10	518	168	206	196	196
10 ⁻²	530	280	212	280	260
10 ⁻³	516	512	384	360	306
10 ⁻⁵	520	480	288	368	276
10 ⁻⁷	526	592	256	336	312
10 ⁻⁹	536	562	276	320	268
Control	536	536	286	316	288

(Serpokriv y col, 2001)

Para el caso de la bacteria *B. cereus* en su forma vegetativa, la aplicación del «BINGSTI» mostró (véase el cuadro 3.5), una total independencia con la bacteria, aún después de 7 días de muestreo la cantidad de en su forma vegetativa muestra la independencia del desarrollo del *B. cereus* con dosis diferentes.

Con respecto a la misma bacteria, pero en su forma de esporas, el «BINGSTI» presentó prácticamente el mismo comportamiento (véase el cuadro 3.6).

CUADRO 3.6 Influencia del preparado "BINGSTI" en la cantidad de *B. cereus*, (forma de espora) (colonias por mililitro).

DOSIS	CANTIDAD DE <i>B. cereus</i> INICIAL	TIEMPO DE MUESTREO (días)			
		0	1	2	7
Nativos	410	460	528	590	516
1:1	420	440	598	504	520
1:10	412	404	504	512	488
10 ⁻²	406	306	514	620	512
10 ⁻³	402	396	480	502	490
10 ⁻⁵	408	328	420	596	540
10 ⁻⁷	412	386	444	520	550
10 ⁻⁹	410	412	428	550	478
Control	408	408	446	512	496

(Serpokriv y col, 2001)

Al analizar estos resultados podemos afirmar que la influencia negativa del preparado se observa solamente con dosis 10^{-2} a 10^{-4} en el primer día. Con dosis más pequeñas se encontraron influencias negativas a la actividad de todos los microorganismos ensayados. En el segundo día, el preparado estimula la actividad de la *Escherichia coli*, mostrando un mejoramiento de los procesos metabólicos y simultáneamente se tiene una reacción positiva al medio ambiente (Serpokrilv y col, 2001).

III.3 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FUNGICIDAS DEL PREPARADO

“BINGSTI”

La evaluación de la actividad fungicida del preparado “BINGSTI” se efectuó con base en el comportamiento de una mezcla de diferentes hongos microscópicos (véase el cuadro 3.7). Se puede ver que el preparado aumenta la cantidad de esporas vivas de los hongos desde 42% con dosis de 0.1% hasta 517% con dosis de 100%. Podemos concluir por tanto que el preparado no tiene actividad fungicida, más bien estimula el crecimiento de hongos.

CUADRO 3.7 Resultados del estudio de propiedades fungicidas del preparado “BINGSTI”

Tipo del medio	Concentración del preparado, %	Cantidad de microhongos en 1 mL	Crecimiento,%
El medio puro	Control, 0	2 000000	0
El medio puro + mezcla de hongos:	0.1	2 835000	+42
<i>Aspergillus niger</i> ,	1	3 750000	+87
<i>Aspergillus terrius</i> ,	10	7 240000	+262
<i>Alternaria alternaria</i> ,	100	1 2350000	+517
<i>Fusarium moniliforme</i> ,			
<i>Penicillium chrisogenu</i> ,			
<i>Penicillium funiculosum</i> ,			
<i>Penicillium ochlo-chloron</i> ,			
<i>Trichoderuta viride</i> ,			
<i>Scopulariopsis brevicantlis</i>			

(Serpokrilv y col, 2001)

III.4 PROPIEDADES OVICIDAS DEL PREPARADO "BINGSTI".

Ésta etapa del estudio se llevó a cabo en dos partes (cuadro 3.8) :

1. En huevos de ascaris puros; a partir de aguas residuales contaminadas artificialmente con huevos de ascaris.
2. Huevos de helmintos en agua de entrada y salida de una planta de tratamiento.

Al considerar la cantidad de huevos muertos se ha evaluando el nivel de la acción del preparado: alto (muertos mas del 90 %), promedio (mayor del 50% y menor del 90 %), bajo (menos del 50 %).

CUADRO 3.8 La acción ovicida del preparado "BINGSTI"

EXPOSICIÓN (horas)	HUEVOS DE <i>Áscaris</i> , MUERTOS POR DOSIS				
	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Huevos puros					
3	7.1 ± 0.3	7.2 ± 0.2	5.9 ± 0.3	5.2 ± 0.4	5.0 ± 0.5
6	38.6 ± 0.8	36.1 ± 0.4	33.4 ± 0.6	26.3 ± 0.6	19.2 ± 0.9
9	58.3 ± 1.1	56.9 ± 0.7	53.9 ± 1.2	44.1 ± 1.4	29.6 ± 0.5
12	72.4 ± 0.9	70.3 ± 1.3	67.3 ± 1.4	57.6 ± 0.6	52.7 ± 0.7
24	98.7 ± 0.4	94.9 ± 0.8	89.7 ± 1.5	70.3 ± 0.8	56.2 ± 0.8
Huevos en aguas entradas					
3	5.6 ± 0.2	5.7 ± 0.3	5.1 ± 0.6	5.2 ± 0.3	3.6 ± 0.7
6	32.8 ± 0.6	32.1 ± 0.5	30.5 ± 0.7	22.7 ± 0.8	16.7 ± 0.6
9	56.6 ± 0.7	54.1 ± 1.1	51.7 ± 1.4	47.9 ± 1.2	31.9 ± 1.2
12	62.5 ± 0.9	59.1 ± 0.7	53.8 ± 0.9	50.4 ± 0.5	43.6 ± 0.4
24	87.2 ± 1.2	83.6 ± 0.4	77.7 ± 0.5	64.1 ± 0.7	50.3 ± 0.4
Huevos en aguas tratadas					
3	6.2 ± 0.3	6.4 ± 0.4	5.7 ± 0.7	5.9 ± 0.4	5.2 ± 0.6
6	34.1 ± 1.2	33.7 ± 0.6	31.9 ± 0.4	26.6 ± 1.7	18.4 ± 0.7
9	59.3 ± 0.7	53.4 ± 0.9	50.4 ± 0.9	48.4 ± 0.5	35.6 ± 1.3
12	70.7 ± 0.4	67.2 ± 0.4	56.9 ± 0.9	55.8 ± 0.6	50.9 ± 0.6
24	91.8 ± 1.3	87.6 ± 0.6	77.6 ± 0.5	69.4 ± 0.9	57.7 ± 0.4

(Serpokrilv y col, 2001)

Al analizar estos datos se puede ver: la acción baja del preparado sobre los huevos de helmintos observando independencia de la dosis del preparado durante 3 a 6 horas ; en el tiempo de 9 a 12 hrs tenemos una acción promedio; y a de 12 a 24 horas, la acción es alta. Por otra parte, el nivel alto de deshelmintación se observa con dosis de 10^{-5} – 10^{-7} .

En condiciones reales en las plantas de tratamiento de aguas o suelos, estos datos de laboratorio hay que ajustarlos, tomando en cuenta el gasto de entrada y los tiempos de retención de las aguas en la planta de tratamiento.

III.5 EVALUACION TOXICOLOGICA DEL "BINGSTI" CON PRUEBAS BIOLÓGICAS.

Para evaluar la toxicidad del BINGSTI sobre microorganismos a diferentes niveles de la cadena alimenticia, se utilizaron pruebas biológicas en bacterias infusorias (protozoarios) y cangrejos acuáticos (*Daphnia magna*). Entre éstas pruebas se determinaron la influencia toxicológica por la reacción de su conducta, su crecimiento y su mortandad (véanse cuadros 3.9, 10 y 11).

Para el caso de cangrejos acuáticos (*Daphnia magna*), el criterio de evaluación fue su muerte a consecuencia del contacto con el preparado y con una dosis determinada; como se puede ver e el cuadro 3.9, para dosis inferiores a 10^{-3} no se tiene influencia negativa sobre la *Daphnia magna*.

CUADRO 3.9 Cantidad de *Daphnias* muertas según dosis del preparado "BINGSTI"

DOSIS	DAPHNIAS MUERTAS, %				
	1	24	48	72	96
Control	0	0	0	0	0
10^{-1}	0	100	100	100	100
10^{-3}	0	0	0	0	0
10^{-6}	0	0	0	0	0
10^{-8}	0	0	0	0	0
10^{-9}	0	0	0	0	0
10^{-10}	0	0	0	0	0
10^{-12}	0	0	0	0	0
Norma	0				

(Serpokrily y col, 2001)

La prueba con la infusoria *Tetrahimena piryformis* se evaluó con dos variantes en cuanto a la acción del preparado: por reacción de su conducta, entendiendo a ésta

como el nivel de actividad o pasividad de (cuadro 3.10) y por su nivel crecimiento (cuadro 3.11).

CUADRO 3.10 Influencia del preparado "BINGSTI" en la reacción tóxica de Infusorias (por reacción de su conducta)

DOSIS DE PREPARADO	UNIDADES DESPUÉS DE 1.5 HRS	TOXIDAD, %
Control	234	-
10^{-1}	230	12
10^{-3}	137	42
10^{-6}	206	12
10^{-8}	151	36
10^{-10}	189	20
Norma	-	<50

(Serpokrilv y col, 2001)

CUADRO 3.11 Crecimiento de Infusorias según la dosis del preparado

DOSIS DE PREPARADO	CANTIDAD PROMEDIO DE INFUSORIAS VIVAS EN 0.01 ml CON RESPECTO AL TIEMPO					TOTAL	TOXICIDAD DURANTE 48 HRS (%)
	15 min.	1 hr	6hrs	24 hrs	48 hrs		
control	11	12	14	20	50	39	100
10^{-1}	8	7	8	19	50	42	102
10^{-3}	10	9	9	11	44	34	87
10^{-6}	10	10	12	17	40	30	77
10^{-8}	8	8	8	15	47	39	100
10^{-9}	7	7	10	20	38	31	78
10^{-10}	6	6	9	19	36	30	77
10^{-12}	11	11	13	18	35	24	61
Norma							50-100

(Serpokrilv y col, 2001)

De acuerdo con estos resultados podemos concluir que en ningún caso, la aplicación del preparado se traduce en influencia negativa. La última columna de los cuadros 3.9 y 3.10 muestran el nivel de toxicidad para las dosis ensayadas. En el último renglón de los cuadros se especifica la norma de la toxicidad, por lo que se observa que en todos los casos el nivel está dentro de la norma.

Para ensayar la influencia del preparado sobre el primer escalón de la cadena alimenticia se tomaron las bacterias bioluminiscentes y determinaron la intensidad de luminiscencia dependiendo de la dosis del preparado durante 1 hora (cuadro 3.12).

CUADRO 3.12 Cambio de bioluminiscencia de las bacterias según la dosis del preparado

DOSIS DE PREPARADO	LUMINISCENCIA EN 30 MINUTOS	TOXICIDAD, %
control	31598	-
10^{-1}	126688	-300
10^{-3}	62683	-98
10^{-6}	92806	-193
10^{-8}	74055	-134
10^{-10}	78549	-148
10^{-12}	39019	-23
Norma	-	-11<T<50

(Serpokrilv y col, 2001)

De acuerdo a estos datos experimentales se puede decir que no hay influencia negativa del preparado para estas bacterias.

Por ello, se concluye que el preparado no influye a procesos biológicos en aguas y suelos y por eso tiene razón para usarse en la práctica de deshelmintación tanto de aguas como de suelos.

III.6 ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS VEGETALES DEL PREPARADO "BINGSTI"

Porque las aguas tratadas se usan para riego y los lodos sobrantes se utilizan como abono se necesita saber la influencia del preparado en el desarrollo de la vegetación.

Se usaron para investigarlo semillas de avena. Como índice de toxicidad se comparó la longitud de las raíces de la avena y el crecimiento de las semillas (cuadros 3.13 y 3.14).

CUADRO 3.13 Resultados de la prueba vegetal según la dosis del preparado

# DE MUESTRA	DOSIS DE PREPARADO	LONGITUD DE RAÍCES mm	RELACIÓN CON CONTROL %
1	Control - 1	50.68	100
2	Control - 2*	86.42	100
3	$5 \cdot 10^{-7}$	64.56	127.39
4	$5 \cdot 10^{-6}$	63.4	121.10
5	$5 \cdot 10^{-5}$	64.24	126.76
6	$5 \cdot 10^{-4}$	52.88	104.34
7	$5 \cdot 10^{-3}$	62.08	122.49
8	$5 \cdot 10^{-2}$	96.26	111.39
9	100	88.4	102.29
10	50	74.02	85.65
11	30	42.85	84.55
12	10	54.5	63.06
13	1	0	0

*Control - 2 comparación con las muestras # 8, 9, 10, 11
(Serpokrilv y col, 2001)

CUADRO 3.14 Influencia del preparado "BINGSTI" sobre las semillas de avena

# DE MUESTRA	DOSIS DE PREPARADO (DILUCIÓN)	EFEECTO BIOLÓGICO %	CARACTERÍSTICA DEL CAMBIO
3	$5 \cdot 10^{-7}$	27.38	Estimulación
4	$5 \cdot 10^{-6}$	25.1	Estimulación
5	$5 \cdot 10^{-5}$	26.75	Estimulación
6	$5 \cdot 10^{-4}$	4.34	Falta
7	$5 \cdot 10^{-3}$	22.49	Estimulación
8	$5 \cdot 10^{-2}$	11.39	Estimulación
9	100	2.29	Falta
10	50	-14.35	Frenado
11	30	-15.45	Frenado
12	10	-36.96	Frenado
13	1	-100	Suprimido pleno

(Serpokrilv y col, 2001)

Al analizar los datos obtenidos podemos concluir que con la cantidad de dosis laborales observamos la estimulación y desarrollo de las raíces. Principal razón del uso del preparado "BINGSTI" como proceso de protección del medio ambiente tanto en aguas como suelos.

IV. METODOLOGÍA

El desarrollo principal de este trabajo es aplicar la tecnología BINGSTI, utilizando un preparado elaborado con plantas mexicanas y después comprobar la eliminación de helmintos, usando dicha tecnología en la planta de tratamiento "Centro" de la Comisión Estatal de Aguas (CEA).

Para lograr la eliminación de los helmintos es necesario hacer primero un estudio de las aguas residuales con el fin de conocer el contenido de parásitos (huevos de helmintos) de entrada y de salida de la planta de tratamiento. Esto permite conocer cuanta agua será tratada y definir la dosis del preparado. Para esto último se requiere también hacer un estudio que permita conocer el régimen de funcionamiento de la planta de tratamiento, principalmente: el gasto de ingreso y las irregularidades que se tengan normalmente en el flujo de la planta a diferentes horas del día y de la semana.

Así mismo, se evalúa el tiempo real de estancia del agua en la planta con el fin de determinar el tiempo de contacto que tendrá el preparado con las aguas residuales.

IV.1 ELABORACIÓN DEL PREPARADO BINGSTI.

Para elaborar el preparado se utilizaron diferentes variedades de jitomate y papa. En un principio se trató de cultivar jitomate de diferentes variedades en almácigos, ya que lo que se utiliza para hacer el preparado son brotes de tallos de no más de 15 cm; sin embargo, al no germinar las semillas, se obtuvieron del invernadero de la Facultad de Ingeniería, los brotes de la planta de jitomate variedad Jironda y Gabriela, por lo que solo se utilizaron los preparados elaborados con éstas variedades.

La elaboración del preparado se realizó de dos formas: en húmedo y en seco. En húmedo, los tallos se muelen y se obtiene un extracto de su jugo el cual llamaremos el concentrado de BINGSTI, éste tiene mucho tiempo de vida si se almacena en refrigeración; no obstante, para lograr una mayor preservación se le añadió una gota de solución de nitrato de plata (AgNO_3), la figura 4.1 es una muestra del preparado en su variedad húmeda. Para hacerlo en seco, los tallos se secan previamente en una estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ posteriormente se muele, obteniendo un polvo fino que tiene un periodo de vida mayor que el anterior. Este polvo se disuelve en agua para su aplicación.



FIGURA 4.1 Preparado BINGSTI en su variedad húmeda

El BINGSTI se preparó también con brotes de papa; en este caso, se dejaron germinar, en un lugar húmedo y frío, las papas de dos variedades: blanca y chica, posteriormente se cortaron sus brotes, se secaron y se molieron, obteniendo un polvo semejante al anterior. Sin embargo, por razones de tiempo y presupuesto, esta variedad del BINGSTI no fue utilizada en este trabajo.

IV.2 INFLUENCIA DEL PREPARADO EN LOS LODOS ACTIVADOS.

Para ver la influencia que pudiera tener el preparado sobre los lodos biológicos, se midió el índice de sedimentación de los lodos, que representa el porcentaje de masa biológica que sedimenta en cierto tiempo, mismo que se analiza como una función de la velocidad de sedimentación.

La prueba se desarrolló en un reactor biológico aerobio en el laboratorio, aplicando durante una semana el preparado de acuerdo al contenido de volumen de agua residual en el reactor y midiendo diariamente el índice de sedimentación de los lodos. Esto se realizó tomando 100 mL del licor mixto (agua residual con lodo activado) en una probeta y midiendo el volumen de lodo sedimentado durante media hora. Si esta velocidad de sedimentación permanece igual todos los días, nos indica que no se afecta al desarrollo de los microorganismos en el lodo activado por la adición del preparado.

IV.3 IRREGULARIDAD DEL GASTO DE ENTRADA.

Se efectuó la medición de la cantidad de agua que entra a la planta de tratamiento. Con estos datos se estudió la irregularidad del gasto de entrada a la planta por día y por hora. Por lo que, se utilizó un medidor de caudales automático de la marca ISCO, modelo 4250 "Flow Meter", proporcionado por la propia Comisión Estatal de Aguas (CEA). Este programa de monitoreo se llevó a cabo durante siete días consecutivos y con intervalos de diez minutos, promediándose los resultados medios de cada hora.

IV.4 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN.

La obtención del tiempo de retención en la planta de tratamiento es una condición indispensable para poder aplicar el preparado y que éste actúe con el tiempo suficiente para alcanzar la deshelmintación. La experiencia en plantas de tratamiento de Rusia indica que este tiempo debe ser de 10 horas como mínimo.

El tiempo de retención es un parámetro que puede estimarse a partir de las dimensiones de los tanques y el gasto de entrada en la planta de tratamiento; en este caso se trataría de un tiempo teórico que no se ajusta al tiempo real de permanencia, pues no toma en cuenta las corrientes que se forman y las zonas muertas donde no hay circulación, un ejemplo de esta situación se presenta comúnmente en las esquinas de los estanques.

Por lo anterior, se utilizó un procedimiento experimental, determinándose el tiempo real de residencia del agua a partir de la adición, en la entrada de cada tanque, de aproximadamente 5 L de una solución sobresaturada de cloruro de sodio (NaCl). Esta solución aumenta la conductividad del agua, misma que se midió en la salida de cada tanque durante un periodo de tiempo. Este procedimiento se realizó en el sedimentador primario (figura 4.3) y en el reactor biológico ó tanque de aeración (figura 4.4). El monitoreo de la conductividad se efectuó durante el tiempo necesario hasta que, en cada tanque, la conductividad volvió a ser la inicialmente registrada; es decir, anterior a la adición del cloruro de sodio. El valor registrado se representó en función del tiempo.



FIGURA 4.2 Entrada del agua residual a la planta de tratamiento (desarenador)

IV.5 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE HELMINTOS.

En el caso de la planta de tratamiento Centro de la CEA-Qro. se determinó la cantidad de huevos de helmintos que contiene el agua residual, tanto cruda (entrada) como del agua ya tratada a la salida de la planta de tratamiento. Como ya se mencionó, con los tratamientos convencionales se alcanza a eliminar algunos de los huevos de helmintos en los sedimentadores, pero una buena parte se concentran en los lodos de desecho.



FIGURA 4.3 Sedimentador primario

Se realizaron los análisis del contenido de parásitos según la Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL/1997, para determinar y cuantificar la presencia de huevos de helmintos en las aguas y lodos residuales. Estos análisis los realizó un laboratorio certificado donde se describe como metodología utilizada el método de flotación NMX-AA-113-SCFI-1999. Se tomaron en la entrada (figura 4.2) y salida (figura 4.6) de la planta, 5 L de muestra como dice la norma en una garrafa de plástico, una cantidad semejante se tomó de los lodos de desecho (figura 4.4 y 4.5) y se llevaron inmediatamente al laboratorio para el análisis correspondiente. Finalmente, cabe recordar que una de las ventajas precisamente del uso del preparado es que actúa también sobre los lodos de desecho, por lo que se determinó el contenido de helmintos también en estos elementos.



FIGURA 4.4 Tanque de aireación y recirculación de lodos



FIGURA 4.5 Pozo de lodos para su recirculación

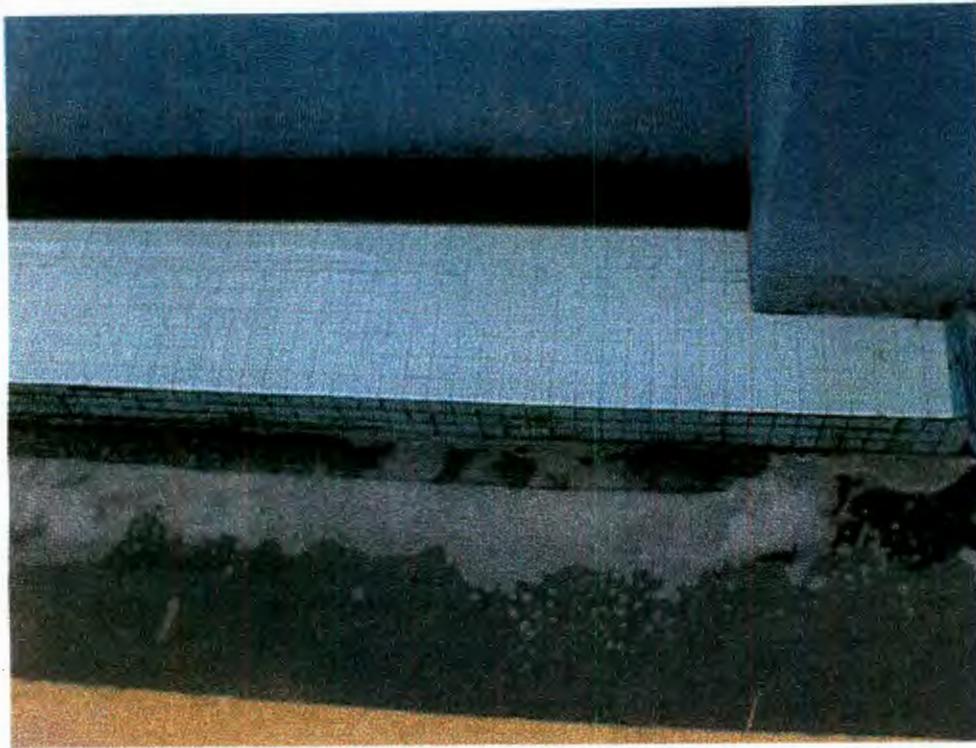


FIGURA 4.6 Sedimentador secundario, salida del tratamiento

IV.6 DOSIFICACIÓN DEL PREPARADO

Una vez preparada la solución concentrada, ésta se debe diluir en agua para alcanzar las dosis que resultaron de los análisis anteriores. La dilución que resultó de estos análisis fue del 2%. Como ejemplo, para un litro de agua se debe agregar 20 mL del preparado concentrado.

Se implementó un dosificador para poder administrar el preparado directamente en la planta de tratamiento, la figura 4.7 ilustra este dispositivo, que aunque rudimentario sirvió para los fines de este proyecto. El dosificador se elaboró de acuerdo a las características del dosificador desarrollado por Mariotte, con el cual por cada gota que deja caer por una manguera se deja entrar aire por otra para que no se haga vacío en la botella cerrada. Como la dosificación del preparado ya

diluido debe ser de tipo homeopática por las dosis que se requieren, se necesitó administrar una gota (0.05mL) por cada metro cúbico de agua. Ya con el conocimiento de las irregularidades del gasto de entrada de la planta, se colocó la botella dosificadora en la entrada del sedimentador primario controlando la dosificación del preparado.

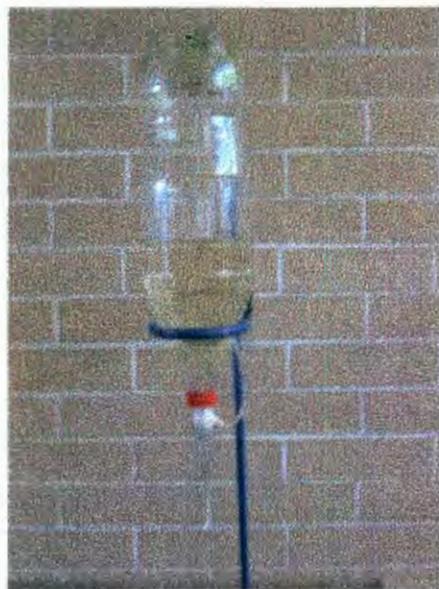


FIGURA 4.7 Dosificador utilizado para la aplicación del BINGSTI

IV.7 DETERMINACIÓN DE HELMINTOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL PREPARADO

Después de la aplicación de tres días del preparado de un solo tipo de planta se tomaron muestras de agua de salida y de los lodos para realizar la determinación de helmintos. Al igual que con el muestreo anterior se tomaron 5 L. de muestra en garrafas de plástico y se llevaron al mismo laboratorio.

Estas aplicaciones se hicieron con tres diferentes preparados, con dos variedades de jitomate y elaborados en seco y húmedo. Para cada uno se realizó la dosificación durante tres días para asegurar que actué el preparado, después se tomaron las muestras correspondientes.

Utilizando este método de deshelmintación se elimina cualquier otro tratamiento a los lodos, vaciándolos directamente en el lecho de secado para su posterior utilización como biosólido (figura 4.8).



FIGURA 4.8 Lecho de secado de los lodos

V. RESULTADOS

V.1 INFLUENCIA DEL PREPARADO EN LOS LODOS ACTIVADOS

Los lodos activados se encuentran y tienen su acción en el reactor biológico. Se trata de una masa biológica compuesta por varios micro-organismos que pueden ser susceptibles a cambios en el agua y en los lodos, mismos que podrían ocasionarles la muerte. Por ello, hay que tener controladas las condiciones de su ambiente, como podría ser el pH, la cantidad de oxígeno, de nutrientes, etc. Estos microorganismos forman flóculos de un tamaño adecuado para que se puedan separar como sólidos biológicos en el sedimentador secundario. Se ha observado que cuando aumenta el tiempo medio de retención celular, mejoran las características de sedimentación del flóculo. Por lo anterior, es necesario efectuar pruebas de sedimentación para determinar si hay o no algún efecto del preparado sobre el desarrollo de micro-organismos.

CUADRO 5.1 Índice de sedimentación durante una semana de lodos activados.

DIAS	INDICE DE SEDIMENTACIÓN (%)	
	30 mín	60 mín
1	91	83
2	92	84
3	93	86
4	91	83
5*	89	78
6*	90	75
7*	89	76

* Se saco tres cuartas partes del lodo al reactor por lo que sedimenta más rápido

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 5.1, se observa una influencia negativa, ya que la sedimentación de los lodos activos no varía con la adición del preparado mexicano al igual que el ruso. Esto es, con la adición del preparado se mantuvo una sedimentación igual, lo que indica que no interfiere en la formación de los flóculos biológicos. Así que el uso del preparado no afecta las condiciones de la planta, ni al reactor biológico.

V.2 IRREGULARIDAD DEL GASTO DE ENTRADA.

Con el fin de poder determinar la dosis de aplicación del preparado fue necesario determinar la distribución del gasto en la entrada de la planta de tratamiento. Se midieron entonces los gastos de entrada durante una semana en el mes de abril. Este programa de monitoreo se llevó a cabo con intervalos de diez minutos, calculándose los valores medios, mínimos y máximos de cada hora para poder decidir la dosificación del preparado. Para esta medición se utilizó un medidor de caudales automático de la marca ISCO, modelo 4250 "Flow Meter", proporcionado por la propia Comisión Estatal de Aguas. En promedio, el régimen de flujo se muestra en la figura 5.1 para cada día del muestreo y en el cuadro 5.2 se consignan los valores promedio por día.

Con fines de dosificación del preparado, se utilizó el gasto promedio (en litros por segundo) de cada hora, obtenido durante los 7 días de la semana. Como se observa en la figura 5.2, las horas de mayor entrada de agua a la planta se registró en el lapso de las 8:00 a las 19:00 hrs los días martes, jueves y viernes.

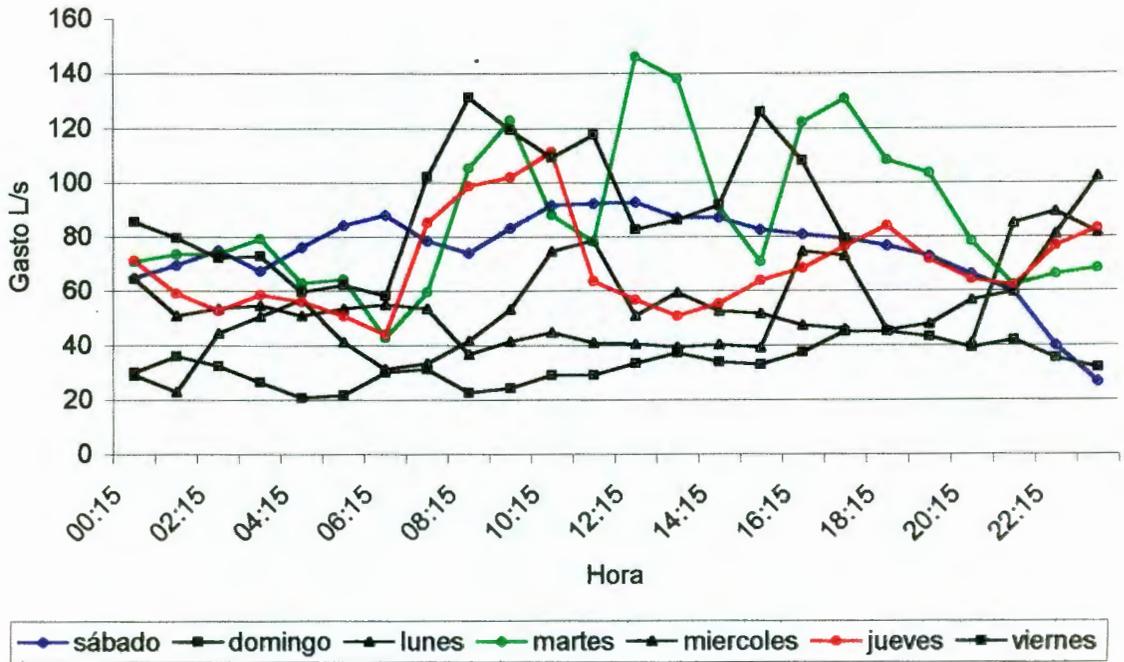


FIGURA 5.1 Gasto de entrada de agua residual a la planta de tratamiento por día

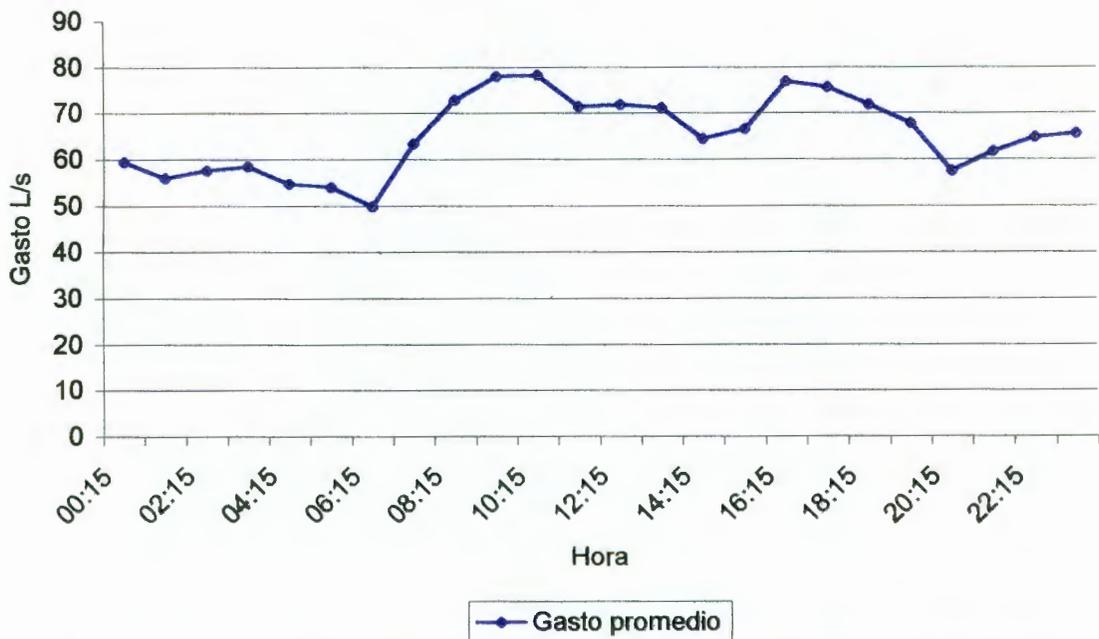


FIGURA 5.2 Cantidad de agua residual promedio de entrada en una semana en la planta de tratamiento.

Resumiendo, los datos obtenidos en el monitoreo del gasto del agua residual de entrada a la planta de tratamiento con sus gastos máximo, mínimo y promedio se condensan en el cuadro 5.2. Como se observa, el domingo es el día que menos agua entra a la planta debido a la reducción de actividades en la ciudad y el viernes es cuando se incrementa el gasto.

CUADRO 5.2 Resumen de los gastos de agua de entrada a la planta de tratamiento.

GASTO	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Qmáx (L/s)	128	88	94	110	131	94	45
Qmín (L/s)	28	22	17	45	59	28	21
Qprom (L/s)	53.5	52.3	44	61	91.3	76.4	33.5
Qprom (m ³ / hr)	192.6	188.3	146.4	219.6	328.7	275	120.6
Qprom (m ³ /día)	4622.4	4469.2	3513.6	5270	7889	6901	2894.4
Cmáx Irregula	2.39	1.68	2.13	1.8	1.54	1.21	1.34
Cmín Irregula	0.52	0.42	0.39	0.73	0.64	0.36	0.63

V.3 ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL TIEMPO DE RETENCIÓN.

El tiempo de retención real que presenta cada tanque en la planta de tratamiento centro, se determinó añadiendo una solución de cloruro de sodio sobresaturada, produciendo un aumento en la conductividad del agua. Se midió entonces la conductividad al inicio antes de añadir la sal y a la salida de cada tanque y se representó su variación con respecto al tiempo, indicando el tiempo de salida del cloruro de sodio.

El monitoreo de la conductividad se efectuó durante el tiempo necesario hasta que, en cada tanque, la conductividad volvió a ser la inicialmente registrada; es

decir, anterior a la adición del cloruro de sodio. El valor registrado se representó en función del tiempo.

La gráfica con los resultados del sedimentador primario se presenta en la figura 5.3, se observa el aumento en la conductividad hasta un valor aproximadamente constante en un tiempo de 90 minutos, lo cual nos indica la máxima conductividad antes de que la sal emigrara del sedimentador, por lo cual se asoció este tiempo con el tiempo de retención real. Posteriormente, se observó un aumento en la conductividad, pero esto se debió a un cambio en las condiciones de entrada en la que el agua tenía una conductividad muy alta. Concluyendo, se estimó un tiempo de retención de 1.5 horas para el sedimentador primario.

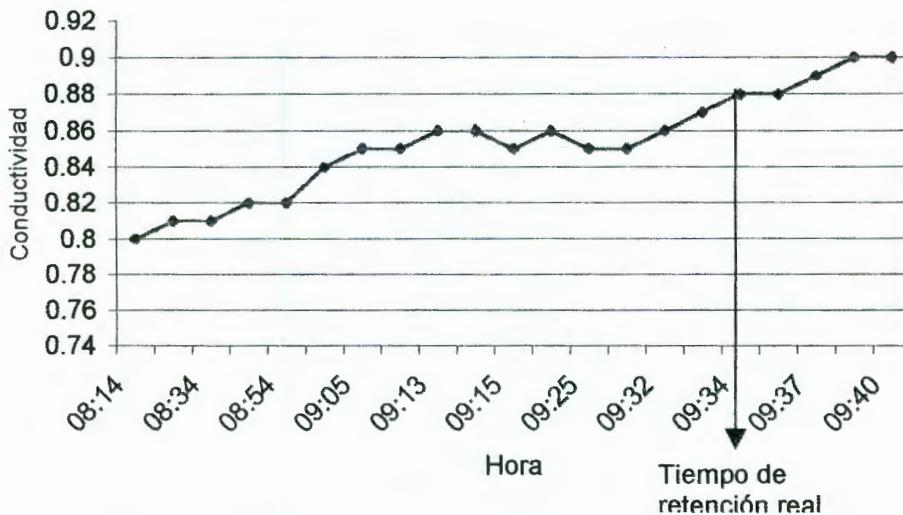


FIGURA 5.3 Medida del tiempo de retención en el sedimentador primario

En la figura 5.4 se representa el tiempo de retención para el tanque de aeración, en el cual se observa una mayor fluctuación de la conductividad debido precisamente a la aeración, misma que origina un flujo turbulento. Se aprecia sin

embargo que, a pesar de la fluctuación, la conductividad sube hasta permanecer prácticamente constante, el tiempo de retención para este caso se estimó en 8 horas.

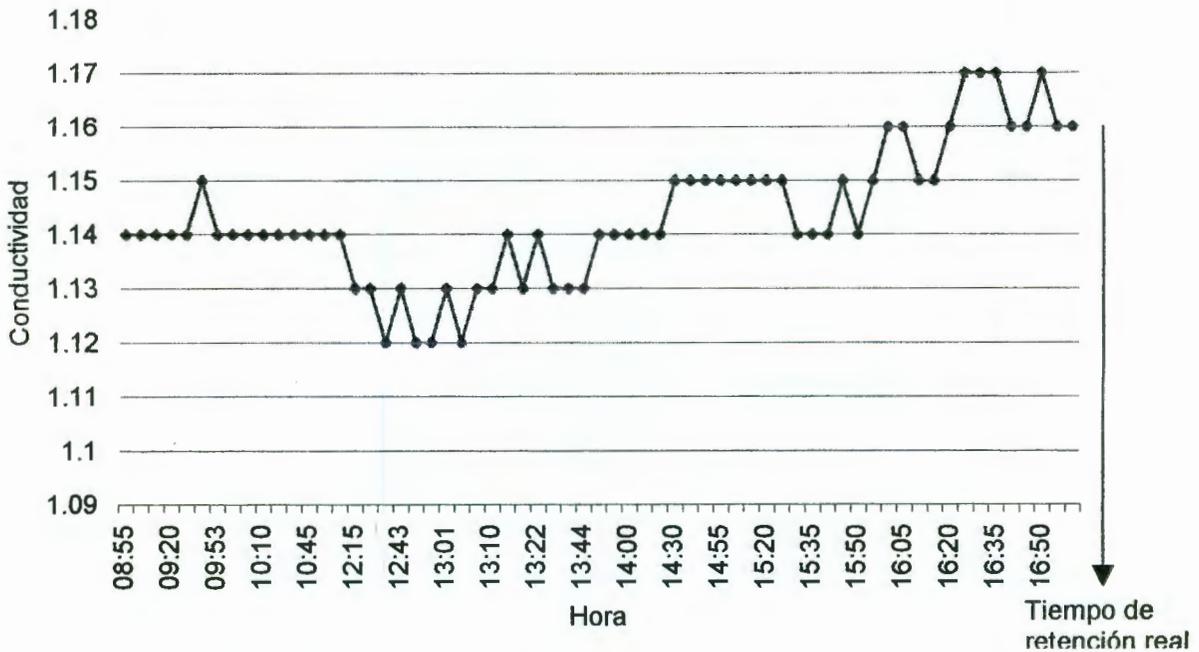


FIGURA 5.4 Medida del tiempo de retención del reactor biológico o tanque de aereación

La planta de tratamiento "Centro" de la CEA-Qro. consta de tres tanques: sedimentador primario, tanque de aeración y sedimentador secundario. Con ellos se obtuvo el tiempo de retención total para la planta de tratamiento. Para el sedimentador secundario, se consideró un tiempo de retención igual al primario, ya que ambos presentan la misma geometría. En resumen, se obtuvo un tiempo de retención total de 11 horas; este tiempo se consideró suficiente para que actuase el preparado sobre las aguas residuales, recuérdese que de acuerdo a las pruebas realizadas anteriormente, la acción ovicida del preparado se alcanza en

un intervalo de 12 a 24 horas de contacto, para una deshelmintación mayor al 90%.

V.4 DETERMINACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS.

Para poder conocer la eficiencia del preparado en la eliminación de los huevos de helmintos, antes de la aplicación del BINGSTI, se necesita conocer cuantos de ellos están presentes en las aguas residuales de entrada a la planta, cuantos se eliminan con el tratamiento en los sedimentadores y cuantos huevos se alojan finalmente en los lodos de desecho.

Los resultados de los análisis de la cantidad de helmintos presentes inicialmente en estos tres puntos claves de la planta de tratamiento: en la entrada (desarenador), en los lodos de recirculación (pozo de lodos) y en la salida de la planta, se indican en el cuadro 5.3

CUADRO 5.3 Análisis de helmintos en la planta de tratamiento antes de añadir el preparado

MUESTRA	<i>A.lumbricoides</i> (org/L)	<i>E.vermicularis</i> (org/L)	<i>A.duodenales</i> (org/L)	<i>T.trichiura</i> (org/L)	TOTAL DE HUEVOS DE HELMINTOS
Entrada	4	1	1	1	7
Lodos	19	1		1	21
Salida	5			1	6

Como podemos observar, es clara la presencia de huevos de helmintos; ya se ha dicho que en nuestro país todas las aguas residuales crudas contienen, en menor o mayor grado, huevos de helmintos, por lo que la re-utilización de las mismas de manera indiscriminada no debe ser permitida. En efecto, como ya se ha mencionado, actualmente las recomendaciones de la OMS para la reutilización de efluentes tratados de aguas residuales, acentúan bastante las concentraciones

límites de este tipo de parásitos: para irrigación sin restricciones, su concentración debe ser inferior a un huevo viable. Este estándar debe estar acompañado de una concentración inferior de 1000 coliformes fecales / 100 mL de agua residual tratada.

Como se observa en el cuadro 5.3 con el funcionamiento de la planta disminuyó la cantidad de huevos en el agua de salida, pero no lo suficiente, dicha disminución representa apenas un 15 % de eliminación, no cumpliendo con la norma antes mencionada.

Esta situación es aún peor en el caso de los huevos de helmintos concentrados en los lodos de desecho de los sedimentadores, se necesita por tanto de un proceso especial para que éstos se puedan eliminar sin causar ningún peligro.

V.5 DOSIFICACIÓN DEL PREPARADO

A partir de todos los resultados presentados anteriormente, se desarrolló la validación "In Situ" del preparado, determinándose la cantidad necesaria para añadirse por día. Para la dosificación del preparado, se usaron las dosis previamente estudiadas y los datos medidos del gasto de entrada por día en la planta de tratamiento; en el cuadro 5.4 se muestra la cantidad necesaria de preparado por añadir en una hora y por día, es conveniente aclarar que las cantidades que aparecen en este cuadro corresponden a cantidades de la solución ya diluidas.

Como era obvio de esperarse, la dosificación del preparado es menor los días domingo en razón de la disminución de los caudales de ingreso de la planta de tratamiento.

CUADRO 5.4 Dosis del preparado de trabajo añadido

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
mL/hr	10	10	7.5	11	17	14	6
mL/día	240	240	180	264	408	336	144

Con se observa, en una semana se ocuparon 1812 mL de preparado diluido o de trabajo que representan 36.24 mL del concentrado, teniéndose por lo tanto un excelente rendimiento.

V.6 DETERMINACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL PREPARADO

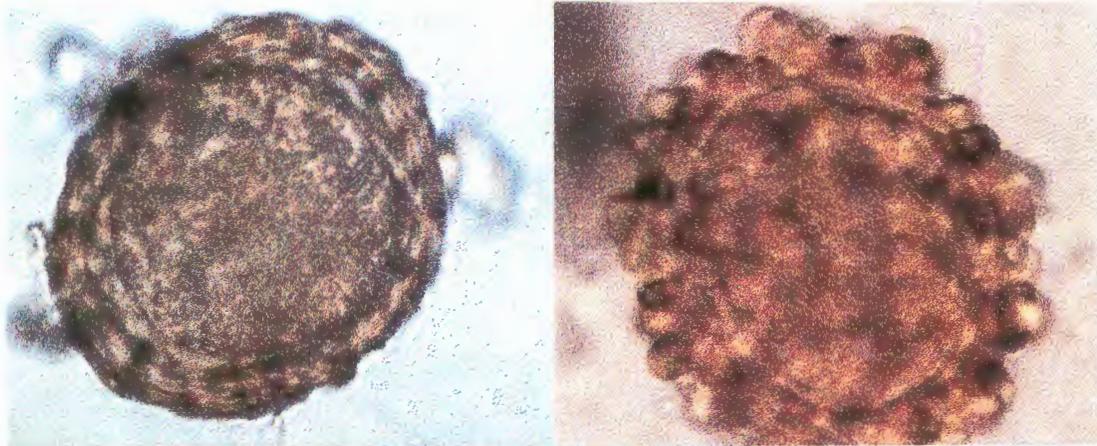


Figura 5.5 Huevos de *Ascaris sp* Izquierda fértil, derecha infértil.

Como ya se ha dicho, la aplicación del preparado "BINGSTI" actúa inhibiendo el crecimiento del huevo, reduciendo su tamaño hasta que muere. Como se puede ver en la figura 5.5, se presenta en la izquierda una imagen de un huevo fértil de

Áscaris sp., ovalado con cápsula gruesa y transparente formada por tres capas, en su interior se aprecia una masa amarga de citoplasma. En la derecha, se presenta un huevo no fértil, el cual carece de membrana interna o vitelina; esto es lo que provoca la aplicación del preparado, aunque en realidad aún no se sabe cuál o cuáles de los compuestos (hidrocarburos) contenidos en el preparado son los que entran en la célula.

Para medir la eficiencia del preparado sobre la eliminación de los huevos de helmintos, tanto en el agua residual como en los lodos de desecho, se analizaron la presencia de éstos después de la aplicación del BINGSTI. Los resultados obtenidos en campo se presentan en el cuadro 5.5. Se condensan en este último todas las variantes utilizadas en la preparación del BINGSTI, observamos la eficiencia en la eliminación de los huevos de helmintos en las aguas tratadas y en los lodos residuales; en todos los casos, los huevos disminuyeron en un gran porcentaje tanto en el agua residual como en los lodos de desecho. En realidad cualquiera de las variedades usadas de jitomate presentaron una gran eficiencia, con cualquiera de ellas se podría promover la utilización del preparado, pero sobresale la variedad Jironda, extraída en forma líquida, ya que en este caso no se detectó la presencia de huevos de helmintos.

CUADRO 5.5 Análisis de huevos de helmintos después del preparado

MUESTRA	PREPARADO GABRIELA (húmedo)		PREPARADO JIRONDA (húmedo)		PREPARADO JIRONDA (seco)	
	Cantidad de helmintos org/L	% de Eficiencia	Cantidad de helmintos org/L	% de Eficiencia	Cantidad de helmintos org/L	% de Eficiencia
Lodos	1 A. Lumbricoide	95.2	Neg	100	2 T. Trichura 1 A. Lumbricoide	85.7
Salida	1 A. lumbricoide	83.3	Neg	100	Neg	100

Como vemos, esta tecnología probada en México, particularmente en las condiciones climáticas de la Ciudad de Querétaro y con las variedades de jitomate y técnicas de extracción, no presenta grandes variaciones con respecto a los resultados obtenidos anteriormente en Rusia.

Estos resultados indican la factibilidad de poder aplicar el preparado en cualquier parte de la Republica Mexicana sin presentar grandes diferencias, ni siquiera utilizando diferentes variedades de jitomate ó aún en condiciones climáticas muy diferentes.

Es justo señalar sin embargo que aún falta por estudiar otras aplicaciones del preparado para eliminar helmintos en suelos contaminados, estudiar su aplicación en otros elementos de otros tipo de plantas de tratamiento, por ejemplo en filtros percoladores. Finalmente, también hay que reconocer que aún se desconoce la acción y los mecanismos bioquímicos que actúan sobre los huevos de helmintos.

V.7 COSTO DEL TRATAMIENTO CON EL BINGSTI

Actualmente, en Rusia se vende en forma comercial el preparado en su forma concentrada, pues ya está patentando por el director de esta tesis, a un costo de 500 dólares americanos por litro; esto es, \$5,000.00 pesos mexicanos aproximadamente. Para el caso de la planta de tratamiento "Centro" de la CEA Querétaro, y con el fin de tener un indicativo sobre los costos resultantes, se tomó como base el precio comercial en Rusia y la cantidad de solución diluida utilizada en una semana en la planta mencionada. Por tanto, se utilizaron 1812 mL de preparado diluido (con una concentración del 2%); esto, es 36.2 mL del concentrado. El costo resultante fue de \$181.2/semana. Tomando en cuenta la operación y mantenimiento del dosificador, este costo no sería mayor de \$400.00 pesos por semana.

Ahora bien, considerando el costo de \$400.00 y un caudal semanal de 35559.6 m³ (véase la figura 5.2, cuadro 5.2), esto representaría un costo unitario de \$0.01 pesos/m³ para las condiciones de la planta de tratamiento estudiada. Con esto vemos que el aumento en el tratamiento para la deshelmintación sería mínimo, y simultáneamente se eliminarían los helmintos del agua y de los lodos de desecho.

En realidad los costos anteriores son mas bien conservadores, el costo para prepararlo resulta muy económico y se podría comenzar a vender en México en forma comercial a un costo más barato que en Rusia, lo cual reduciría todavía más el gasto por su aplicación en la planta de tratamiento. El precio al que se venda en México podría depender de otros factores (comercialización, demanda, etc.) o bien podría contemplarse la elaboración por parte de la Universidad a un precio mucho más razonable para estimular su utilización.

V.8 PROPUESTA TÉCNICA

Las reglas mínimas para la aplicación comercial del preparado se resumen en las cuatro recomendaciones siguientes:

a) Descripción del dosificador para el campo

En la figura 4.7 se presentó el dosificador utilizado, el cual como se ve fue elaborado en forma rudimentaria y tenía que estarse calibrando constantemente con el fin de que goteara a la velocidad deseada. Esto ocasionó la necesidad de tener una persona constantemente para verificarlo.

En la actualidad, en el mercado se encuentran dosificadores con diferentes características según las dosis; tales características se muestran en la figura 5.6 y en el cuadro 5.6. Las especificaciones cambian según el modelo de la marca, pero en general aseguran una dosificación constante con solo calibrarse una vez.

b) Pasos a seguir para la aplicación del preparado en cualquier planta de tratamiento de agua residual municipal:

Es imprescindible que se determinen algunas características mínimas del funcionamiento de la planta, éstas son:

- Determinación del tiempo real
- Determinación de la irregularidad del gasto de entrada
- Cálculo del volumen de dosificación del preparado
- Control del proceso de deshelmintación

Estos pasos se desarrollan en la forma que se explica en la metodología de este informe, pero que puede aplicarse en cualquier planta de tratamiento de aguas residuales.

c) Diluir el concentrado del BINGSTI de acuerdo a las dosis homeopáticas que resultaron de este trabajo, para fines prácticos la concentración sería del 2% para una solución diluida.

d) Para preservar las cualidades del preparado en su forma concentrada, se recomienda mantenerlo en refrigeración permanente a 4°C.

CUADRO 5.6 Características del dosificador típico comercial

MODELO	FLUJO MAXIMO	RANGO DE FLUJO	RANGO DE PRESIONES	PROPORCIONES	PORCENTAJE
D200RE	7 GPM 27 LPM	0.09 a 7 GPM 0.34 a 27 LPM	7 a 70 psi	1:500 a 1:50	0.2 a 2.0%
D400RE	7 GPM 27 LPM	0.09 a 7 GPM 0.34 a 27 LPM	7 a 70 psi	1:200 a 1:25	0.5 a 4.0%
D310RE	7 GPM 27 LPM	0.09 a 7 GPM 0.34 a 27 LPM	7 a 70 psi	1:33 a 1:10	3.0 a 10.0%
DI 16	11 GPM 42 LPM	0.05 a 11 GPM 0.19 a 42 LPM	4.3 a 85 psi	1:500 a 1:54	0.2 a 1.6%
DI 150	11 GPM 42 LPM	0.05 a 11 GPM 0.19 a 42 LPM	4.3 a 85 psi	1:100 a 1:20	1.0 a 5.0%
DI 210	11 GPM 42 LPM	0.05 a 11 GPM 0.19 a 42 LPM	7 a 57 psi	1:50 a 1:10	2.0 a 10.0%
DI 45	20 GPM 76 LPM	0.4 a 20 GPM 1.51 a 76 LPM	7 a 70 psi	1:500 a 1:56	0.2 a 1.5%
DSA45-3	20 GPM 76 LPM	0.4 a 20 GPM 1.51 a 76 LPM	7 a 70 psi	1:200 a 1:33	0.5 a 3.0%
DSA45-8	20 GPM 76 LPM	0.4 a 20 GPM 1.51 a 76 LPM	7 a 70 psi	1:33 a 1:12	3.0 a 8.0%
D8R	40 GPM 151 LPM	2.2 a 40 GPM 8.32 a 151 LPM	2 a 110 psi	1:500 a 1:50	0.2 a 2.0%
D8R 150	40 GPM 151 LPM	2.2 a 40 GPM 8.32 a 151 LPM	2 a 110 psi	1:100 a 1:20	1.0 a 5.0%
D20S VT5	66 GPM 249 LPM	4.4 a 66 GPM 16.66 a 249 LPM	4.3 a 86 psi	1:200 a 1:20	0.5 a 5.0%
D20S	100 GPM 379 LPM	5 a 100 GPM 18.93 a 379 LPM	2 a 120 psi	1:500 a 1:50	0.2 a 2.0%
D30S	132 GPM 500 LPM	35 a 132 GPM 132.49 a 500 LPM	15 a 116 psi	1:400 a 1:80	0.25 a 1.25%
D60S	264 GPM 999 LPM	44 a 264 GPM 166.56 a 999 LPM	22 a 145 psi	1:1000 a 1:142	0.1 a 0.67%

NOTA: Todos los modelos incluyen: Ajuste de rango externo • Las unidades se purgan automáticamente hasta una altura vertical de 3.96m • Temperatura máxima del agua 40° C.

VI. CONCLUSIONES

La aplicación de éste método biológico para eliminación de helmintos en aguas residuales y lodos de desecho muestra grandes ventajas en los resultados obtenidos.

Se cumplió el objetivo, al comprobar que éste método aplicado actualmente en Rusia, puede ser aplicado en nuestro país utilizando el preparado elaborado con plantas mexicanas, observando que nuestras condiciones ambientales no afectaron su acción.

De acuerdo a los resultados observados podemos comprobar las ventajas que presenta el uso del preparado BINGSTI, como son:

- Es inofensivo al ambiente y su uso homeopático lo hace sumamente rentable.
- Es económico
- Es 100% efectivo en la eliminación de huevos de helmintos
- Es de fácil aplicación
- Su aplicación puede llevarse a cabo en cualquier planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

La aplicación a cualquier planta de tratamiento se podrá hacer siempre que se sigan los pasos recomendados en este trabajo y con una sencilla capacitación del operador de la planta.

Las condiciones actuales y futuras de disponibilidad de agua "per capita" exigirán cada vez más una mayor re-utilización de las aguas residuales tratadas, pero también las normas sobre la calidad de estas últimas serán más estrictas. Por ello,

es de esperarse que las tecnologías para la deshelmintación de las aguas tratadas sean cada vez más utilizadas. La sencillez en su aplicación, además de la relación costo/beneficio, de una tecnología como la propuesta en este trabajo, resulta altamente competitiva para su utilización directa en las plantas de tratamiento de aguas municipales. Los beneficios se extienden no solamente a una mejoría en la calidad de las aguas de riego, sino también en la disposición y posible reutilización de los lodos de desechos, eliminando prácticamente los riesgos de contaminación en los suelos. Para el caso de la planta estudiada con apoyo de la Comisión Estatal de Aguas, se ha entregado a dicha Comisión (usuaria del proyecto) una muestra del preparado concentrado para su inmediata utilización con un tríptico (anexo 2) sobre la utilización del producto.

Esta tecnología tiene todavía mucha más aplicación que puede llevar al desarrollo de nuevos trabajos, ya que el preparado puede ser aplicado no sólo en plantas de tratamiento, sino en tierras de cultivos que son contaminadas por éste tipo de organismos, ya que como se comenta su tiempo de vida latente puede ser de años.

LITERATURA CITADA

Cabrera y Rodríguez. 1997. El estado actual del medio ambiente en Querétro. CONCYTEQ, Querétaro: 66-72

CEA, Comisión Estatal de Aguas, Gobierno del Estado de Querétaro. 1999. Plan Hiraúlico del Estado de Querétaro. I Agua potable y saneamiento: 30-60

CNA, Comisión Nacional de Aguas. 2001. <http://www.cna.gob>

Crites R. y Tchobanoglous G. 2000. Tratamiento de aguas residuales. McGraw Hill, México :74-519

EPA (1994c). EPA 832-R-94-009 Biosolids Recycling: Beneficial Technology for a Better Environment. Estados Unidos: 32

Fernández F. R. 1994. La Química en la Sociedad. UNAM, México: 35-36

Grimaylo L. y col. 1996, patente N° 2062752. Agente para deshelmintación de aguas potables y residuales. Editado por el Comité de Patentes de Rusia.

Grimaylo L. y col. 1990. El método integrado para evacuación de objetos del medio ambiente. Tesis doctoral, Editorial del Instituto de Parasitología Médica de Moscú.

Henry y Heinke. 1999. Ingeniería Ambiental. Segunda edición, Prentice may, México: 279-349

Hernández M. A. 2001. Depuración y Desinfección de Aguas Residuales . Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. España

Jiménez B. 1998. Caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas residuales de la ciudad de México. *Water Science and Technology* 37. Reino Unido

Jiménez B. 1999. Tratamiento de aguas residuales. *Revista trimestral. Enero-marzo. Federalismo y desarrollo. No. 65. México: 40-50*

Jiménez B. 2001. *La Contaminación Ambiental en México. Limusa, México: 41-183*

Madiga M.T., Martinks J.M. y Parker J. 2000. *Biología de los microorganismos. 8ª. Edición. 3ª. Reimpresión. Prentice Hall. España: 156-161*

Metcalf y Eddy, 1994. *Ingeniería Sanitaria. Editorial Trillas. Segunda edición. México: 331-336*

Metcalf y Eddy, 1996, *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición, Editorial Labor. México: 217-219*

Nalco. 1990. *Manual del agua. Tomo III, McGraw Hill. México: 36-2 a 36-7*

Nebel B.J. y Wright R. T. 1999. *Ciencias ambientales. Sexta edición. Prentice Hall. México: 263*

NMX Normas Mexicanas. 1999. *Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. NMX-AA-113-SCFI/1999.*

NOM Normas Oficiales Mexicanas. 1993. *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). NOM-CCA-032-ECOL/1993. NOM-CCA-032-ECOL/1993.*

NOM Normas Oficiales Mexicanas. 1997. *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). NOM-001-ECOL/1997 y NOM-003-ECOL/1997*

OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 1998. Análisis del Desempeño ambiental, México. SEMARNAP, México.

OMS Organización mundial de la salud. 2002. Serie de Informes técnicos 778. <http://www.cepis.ops-oms.org>

Rolim M. S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. McGraw Hill, México: 98 - 102

Serpokrilov N. y *col.* 1998. Patente N° 2120421. Manejo de deshelmintación de lodos de aguas residuales, Editado por el Comité de Patentes de Rusia.

Serpokrilov N. y *col.* 1999, a. Patente N° 99124090. Agente para la remoción de huevos de helmintos de aguas residuales y potables, Editado por el Comité de Patentes de Rusia.

Serpokrilov N. y *col.* 1999, b. Aspectos parasitológicos en la ecología de las plantas de tratamiento de aguas residuales, revista "Abastecimiento y Técnica sanitaria", Editorial Stroyiskat-Shtrobel, Alemania, N° 12 : 19-23

Serpokrilov N. y *col.* 2001. Influencia del preparado "Bingsti" sobre diferentes formas de vida. Datos desarrollados en Rusia. Comunicación personal.

Vásquez T. A. M. 1994. Ecología y formación ambiental. McGraw Hill, México: 73-74

Winkler M. 1986. Tratamiento Biológico de aguas de desecho. Limusa, México: 309-310

ANEXO 1

**Técnica para la determinación y cuantificación de
huevos de helminto**



Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental



**Norma
Oficial
Mexicana
NOM-003-
ECOL-1997**

**Que establece
los límites
máximos
permisibles
de
contaminante
s para las
aguas
residuales
tratadas que
se reúsen en
servicios al
público.**

**(Publicada en
el D.O.F. de
fecha 21 de
septiembre de
1998)**

**Anexo 1
Técnica para la determinación y cuantificación de huevos
de helminto**

1. OBJETIVO

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

3. DEFINICIONES

3.1 Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

3.2 Platyhelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. diminuta*, entre otros.

3.3 Nematelminetos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

3.4 Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

3.5 Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

4. FUNDAMENTO

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de Ascaris.

5. EQUIPO

Centrífuga: Con intervalos de operación de 1,000 a 2,500 revoluciones por minuto
Períodos de operación de 1 a 3 minutos
Temperatura de operación 20 a 28 °C
Bomba de vacío: Adaptada para control de velocidad de succión 1/3 hp
Microscopio óptico: Con iluminación Köheler
Aumentos de 10 a 100X; Platina móvil; Sistema de microfotografía
Agitador de tubos: automático, adaptable con control de velocidad
Parrilla eléctrica: Con agitación
Hidrómetro: Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm³
Temperatura de operación: 0 a 4 °C

6. REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Acido sulfúrico
- Eter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

PREPARACIÓN

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla

eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua según sea el caso.

6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

PREPARACIÓN

Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

7. MATERIAL

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz de 160 mm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwich-Rafter

8. CONDICIONES DE LA MUESTRA

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo

3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.

4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

9. INTERFERENCIAS

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

10. PRECAUCIONES

1. Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.

2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

11. PROCEDIMIENTO

1. Muestreo

a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.

b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).

c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.

d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.

2. Concentrado y centrifugado de la muestra

- a)** La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- b)** El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
- c)** Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 mm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
- d)** Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
- e)** En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
- f)** Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- g)** Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
- h)** Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- i)** Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de $ZnSO_4$ con una densidad de 1.3.
- j)** Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- k)** Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
- l)** Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
- m)** Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
- n)** Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, vertir el líquido

resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.

o) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).

p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).

q) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H_2SO_4 0.1 N) + C_2H_5OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.

r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).

s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).

t) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.

3 Identificación y Cuantificación de la Muestra

a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwich-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.

b) Realizar un barrido total al microscopio.

12. CÁLCULOS

1. Para determinar los rpm de la centrifuga utilizada, la fórmula es:

$$\text{rpm} = \sqrt{\frac{Kg}{r}}$$

Donde:

g: fuerza relativa de centrifugación

K: constante cuyo valor es 89,456

r: radio de la centrífuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r \text{ (rpm)}^2}{K}$$

2. Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de la muestra analizada.

13. FORMATO

No aplica.

14. BIBLIOGRAFÍA

1 APHA, AWWA, WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., Washington. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales, 19^a. Edición E.U.A.)

2 CETESB, São Paulo, 1989 Helmintos e Protozoários Patogénicos Contagem de Ovos e Cistos em Amostras Ambientais.

3 Schwartzbrod, J., 1996 Traitement des Eaux Usees de Mexico en Vue d'une Reutilisation a des Fins Agricoles. Reunión de Expertos para el Análisis del Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería UNAM, 86 p.



El contenido de esta sección es responsabilidad de la Dirección General de Regulación Ambiental.

Última actualización: 27/09/2001

Sistema Nacional de Información Ambiental

ANEXO 2

**Tríptico para la utilización del BINGSTI en plantas de
tratamiento de aguas municipales para la eliminación
de huevos de helminto**

QUE VENTAJAS PRESENTA EL BINGSTI?

- Es de bajo costo
- Su dosificación es de tipo homeopática
- Es inofensivo al ambiente
- No afecta a las condiciones de la planta de tratamiento
- Es de fácil aplicación
- Es aplicable a cualquier planta de tratamiento de aguas municipales

CÓMO SE APLICA?

- Su presentación es líquida de manera concentrada.
- Se toman 40 ml y se añade agua potable hasta completar 2 litros de solución (Dilución al 2%).
- Si es necesario puede filtrarse.
- Se vacía en un dosificador tipo Mariotte, el cual es colocado en la entrada del agua a la planta.
- Se calibra el dosificador con goteo de 1 gota por metro cúbico de agua de entrada.
- Esta velocidad de goteo es determinada de acuerdo al gasto promedio y las irregularidades que tenga la planta y para tiempos de retención mínimos de 10 horas.

Para un gasto promedio de 80 a 100 L/s, estos 2 L del preparado diluido son suficientes para el tratamiento biológico de un poco más de una semana.

DIRECTORIO

M. en C. M.a. Dolores Cabrera Muñoz
Rectora

Q.M. M. José Merced Esparza García
Secretario Académico

Ing. Jorge Martínez Carrillo
Director de la Fac. de Ingeniería

Dr. Nikolai Serpokrlov Sergeevich
Investigador Responsable



Contacto en la UAQ
M en C María Eugenia Ortega Morín
Investigador-CEACA
maruor@sunserver.uaq.mx

Centro Universitario s/n, Cerro de las Campanas
Santiago de Querétaro, Qro. C.P. 76010
Tel. (4) 2151349



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

COMISIÓN ESTATAL DE AGUAS DE QUERÉTARO

UTILIZACIÓN DEL "BINGSTI" EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS MUNICIPALES



Para la eliminación de huevos de helmintos

Querétaro, Qro., Agosto 2002