

TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO

BLANCA ELENA JIMÉNEZ CISNEROS *
ALMA CHÁVEZ MEJÍA **

*** Investigadora, Instituto de Ingeniería, UNAM**

**** Técnica académica, Instituto de Ingeniería, UNAM**

RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. NORMATIVIDAD	5
3. ANTECEDENTES	9
3.1 <i>El agua y la salud</i>	9
3.2 <i>Tipos de tratamiento</i>	11
3.3 <i>El tratamiento primario avanzado y el reúso agrícola</i>	13
4. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO	17
4.1 <i>Definición</i>	17
4.2 <i>Opciones del tratamiento fisicoquímico primario</i>	18
4.3 <i>Ventajas</i>	20
4.4 <i>Necesidades de investigación y desarrollo tecnológico para México, en materia de procesos fisicoquímicos</i>	20
5. ESQUEMA DE TRATAMIENTO ESTUDIADO	23
5.1 <i>Tipo y dosis de coagulante y floculante, para el agua de México</i>	25
5.2 <i>Evaluación de la eficiencia del proceso en condiciones locales</i>	32
5.3 <i>Necesidades de unidades específicas de coagulación y floculación</i>	41
5.4 <i>Desarrollo de una técnica para el escalonamiento del proceso</i>	43
5.5 <i>Sedimentación de un efluente con tratamiento primario avanzado</i>	44
5.6 <i>Filtración del efluente con tratamiento primario avanzado</i>	45
5.7 <i>Distribución del tamaño de partícula</i>	51
5.8 <i>Desinfección</i>	52
5.9 <i>Método alterno de monitoreo</i>	54
5.10 <i>Tratamiento de los lodos producidos</i>	56
5.11 <i>Comparación de la producción de lodos de un tratamiento primario avanzado con la de otros procesos</i>	58
5.12 <i>Costos de tratamiento</i>	61
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7. REFERENCIAS	67
Apéndice 1. Principales microorganismos patógenos del agua	73
Apéndice 2. Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto	83
Apéndice 3. Alternativas de tratamiento de lodos	93

ABSTRACT

This work contains the experiences gained by the Water Treatment and Reuse Group, which during almost five years, has been developing a purification system based on advanced primary treatment. This treatment option consists fundamentally of the application of individual physical and chemical processes and operations. The end result is the production of treated wastewater that is fit for agricultural reuse. This is particularly applicable to the 80 % of municipal wastewater which is destined for agricultural reuse in Mexico today.

Advanced primary treatment has the advantage over other systems of water treatment, in that soluble organic material, nitrogen and phosphorus are preserved. These substances are not only necessary for agricultural practices but have been demonstrated as being beneficial to the soil. In fact, in the Mezquital Valley it has been found that the use of wastewater which has such properties increases the production of tomatoes by 150 % and that of maize by 100 %. Furthermore, the wastewater treatment system presented here is able to control helminth egg numbers. According to the Mexican Standard (NOM-001-ECOL/96), which establishes the acceptable levels of pollution present in wastewater discharges, helminth eggs are of particular importance when sewage is reused for agricultural irrigation, because they represent the principal cause of the spread of gastrointestinal illnesses common in Mexico. For example, Ascariasis which is found in 33 % of the population.

In this article a wastewater purification process is presented with its diverse variations. Advanced primary treatment comprises different treatment systems ranging from conventional versions to those systems that make use of mineral additives for sedimentation. In the same manner, the complement to the physicochemical processes is

RESUMEN

Este trabajo contiene las experiencias del Grupo: Tratamiento y Reúso, que durante casi cinco años ha trabajado en el desarrollo de un sistema de depuración de agua basado en el tratamiento primario avanzado (TPA). Esta opción consiste fundamentalmente en aplicar procesos y operaciones unitarias de tipo físico y químico con el fin de producir agua apta para reúso agrícola, destino que se da a más del 80 % de las descargas municipales del país.

El TPA posee la ventaja, sobre otros sistemas de procesamiento de agua, de preservar la materia orgánica soluble, el nitrógeno y fósforo necesarios para la agricultura y benéficos para los suelos del país. En el Valle del Mezquital, el empleo de agua con estas características permite incrementar la producción de jitomate en 150 % y la de maíz en 100 %. Además, la cadena presentada logra controlar los huevos de helminto, parásitos considerados por la NOM-001-ECOL/96 de particular importancia cuando el agua negra es reusada para riego agrícola, pues causan enfermedades muy comunes en México, como la ascariasis, que afecta a 33 % de la población.

Se presenta el proceso de depuración con TPA considerando sus diversas variantes, que abarcan desde las versiones convencionales de TPA hasta las que hacen uso de ayudantes minerales para la sedimentación. Se aborda el complemento del proceso fisicoquímico considerando los sedimentadores convencionales, usados en EUA, y los de alta tasa, comunes en Europa, con los que se reduce el área requerida hasta en 90 %. También se presentan diversas variantes de filtros rápidos para afinar la calidad de un afluente del TPA y se analiza la estabilización con cal para tratar los lodos generados durante el tratamiento.

Este trabajo permite conocer una visión completa, integral y actualizada del proceso, y lo recomienda porque es novedoso, de bajo costo y adecuado para las necesidades del país.

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que en el país se generan 231 m³/s de aguas municipales, de las cuales se recolecta en el alcantarillado 75 % (174 m³/s aproximadamente). La infraestructura de tratamiento solo cubre 15.3 % del agua captada, por lo que cerca de 147 m³/s son descargados sin tratamiento al ambiente (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1996).

Las nuevas Normas Oficiales Mexicanas propuestas para el control de las descargas municipales reconocen que, para solucionar el problema, se debe tomar en cuenta la situación tecnológica y financiera del país. Con ese fin, estas normas fijan estándares técnica y económicamente viables en el contexto de nuestro desarrollo. Como resultado de su aplicación, se generará seguramente la construcción de un gran número de plantas para tratamiento de agua.

En este marco, el sistema de tratamiento primario avanzado (TPA) encuentra un terreno muy fértil para coadyuvar, de manera práctica y con bajo costo, al control de la contaminación y al uso eficiente del agua. En efecto, el sistema ofrece las ventajas siguientes:

- Bajo costo de inversión
- Mejor relación costo-beneficio para el cumplimiento de la nueva normatividad. Diseño y operación simples comparados con los procesos biológicos convencionales (principalmente el de lodos activados).
- Eficiencia aceptable y constante, aun cuando varíen drásticamente el caudal y la calidad del agua, como ocurre por el empleo generalizado de drenajes combinados en México. Esta flexibilidad hace que el TPA, sistema propuesto, sea muy superior a los procesos biológicos.
- Compatibilidad del efluente producido con los requerimientos para reúso agrícola.

- Sedimentación (convencional o de alta tasa)
- Filtración (en arena o con medio sintético)
- Desinfección (con cloro, luz ultravioleta o sulfato de cobre).

Los resultados también orientaron el establecimiento de criterios de diseño para cada componente, de tal manera que se aprovechan procesos y productos de patente nacional, se minimiza el espacio requerido para la planta y se reducen significativamente los costos. En el texto, se citan además complicaciones en la operación, en especial la producción de lodos. En cuanto a la desinfección, se establecen las condiciones en las cuales es más efectivo cada uno de los métodos propuestos. Finalmente, se recomienda el tratamiento de los lodos residuales que, no solo evita problemas en su disposición final, sino que los revaloriza como mejoradores del suelo.

Este trabajo es un instrumento para cumplir con la nueva normatividad de descargas (NOM-001-ECOL/1996), ya que la calidad del efluente producido con un TPA *es totalmente compatible con el uso en riego*. Fomenta además el reúso eficiente del agua bajo el patrón establecido como ideal por Falkenmark (1989), quien recomienda emplear el agua residual de los municipios para riego. De esta manera, se preserva agua de primer uso para el consumo humano, se aprovechan las propiedades fertilizantes del agua residual y se respeta el uso tradicional de las mismas. Es decir, se promueve un uso óptimo del agua en las zonas de mayor demanda de la misma en el país.

También, constituye una solución tecnológica nacional que, motivada por la problemática de la ciudad de México es aplicable para muchas otras urbes de países en vías de desarrollo.

2. NORMATIVIDAD

Recientemente, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la *NOM-001-ECOL/96 (Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales)*. Como característica, esta norma establece el principio del gradualismo. Las descargas municipales tendrán como límite las fechas de cumplimiento determinadas en la tabla 2.1. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al tamaño de la población. Por otra parte, las descargas no municipales tendrán como plazo límite la fecha de cumplimiento establecida en la tabla 2.2, dependiendo de la carga de contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno o sólidos suspendidos totales (SST), de acuerdo con la solicitud del permiso de descarga presentada a las autoridades correspondientes.

Tabla 2.1 Descargas municipales (Diario Oficial de la Federación, 1996)

Fecha de cumplimiento a partir de:	Intervalo de población
1 de enero de 2000	Mayor de 50 000 habitantes
1 de enero de 2005	De 20 001 a 50 000 habitantes
1 de enero de 2010	De 2 501 a 20 000 habitantes

Tabla 2.2 Descargas no municipales (Diario Oficial de la Federación, 1996)

Fecha de cumplimiento a partir de:	Carga contaminante	
	Demanda bioquímica de oxígeno ₅ , en toneladas/día	Sólidos suspendidos totales, en toneladas/día
1 de enero de 2000	Mayor de 3.0	Mayor de 3.0
1 de enero de 2005	De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	Menor de 1.2

Tabla 2.3 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros

PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS				SUELO		HUMEDADES NATURALES (B)	
en mg/l (excepto cuando se especifique)	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de la vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Temp (°C) (1)	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40
Gras y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
MF (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	NA	NA	75	125
Demanda bioquímica oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150
Nitrogeno total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA	NA
Fósforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA
Arsénico (*)	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio (*)	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros (*)	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre (*)	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo (*)	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio (*)	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel (*)	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo (*)	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc (*)	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple, promedio ponderado

(3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006

(*) Medidos de manera total

PD promedio diario

PM promedio mensual

NA no es aplicable

MF materia flotante

(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos

3. ANTECEDENTES

3.1 *El agua y la salud*

La presencia y concentración de microorganismos patógenos en el agua residual cruda depende de diversos factores. Los principales son el origen de estos, la salud general de la población, el medio vector o *transmisor de enfermedades* y la habilidad del agente infeccioso para sobrevivir fuera de su huésped bajo una variedad de condiciones ambientales. La tabla 3.1 indica algunos organismos que pueden estar presentes en el agua residual cruda. Entre ellos destacan, los helmintos y la *salmonella*, causantes de las principales enfermedades gastrointestinales del país (tablas 3.2 y 3.3) y que, bajo condiciones favorables, sobreviven por largos periodos en el agua, cultivos y suelos (para más detalles véase el apéndice 1).

Shuval y Bartone (1986) replantearon el desarrollo de la tecnología para el reúso agrícola del agua, al cuestionar la relevancia de los criterios vigentes durante décadas para valorar la calidad del agua con destino agrícola. Establecieron que más que controlar los contaminantes tradicionales (DBO, DQO, N, etc), o los contaminantes tóxicos de reciente interés (metales pesados y orgánicos sintéticos), se debe poner especial énfasis en la remoción de microorganismos patógenos. En efecto, a partir de evidencias epidemiológicas, ellos demostraron que para reducir los principales riesgos asociados con el empleo del agua residual para reúso en riego, los sistemas de depuración se deben orientar a controlar organismos patógenos y evitar la remoción de N, P y DBO, cuyos aportes son benéficos para el suelo. En México, Cifuentes y Siebe (1993) demostraron que el principal riesgo de salud por el riego con aguas negras es ocasionado por los helmintos (tabla 3.4).

Tabla 3.4 Riesgo de enfermedades infecciosas en la población del distrito de riego 03 (Cifuentes y Siebe, 1993)

Organismos	POBLACIÓN AFECTADA (edad)	PREVALENCIA DE INFECCIONES, en %		Relación (A/B)
		Agua residual (A)	Agua de primer uso (B)	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	0 a 4	15.3	2.7	5.7
	5 a 14	16.1	1.0	16.0
	>15	5.3	0.5	11.0
<i>Giardia lamblia</i>	0 a 4	13.6	13.5	1.0
	5 a 14	9.6	9.2	1.0
	>15	2.3	2.5	1.0
<i>Entamoeba histolytica</i>	0 a 4	7	7.3	1.0
	5 a 14	16.4	12	1.3
	> 15	16.0	13.8	1.2

Dos problemas se presentan en este esquema: cómo asegurar que el agua sea microbiológicamente segura y qué tratamiento emplear para ello. En el primer caso, lo tradicional es controlar los coliformes fecales que se usan como grupo indicador del contenido de microorganismos. La selección de estos indicadores fue dada por primera vez, en 1885, por Escherich y todavía es útil en países cuyo control de enfermedades gastrointestinales es adecuado (Cáceres, 1990). Sin embargo, en nuestro país los coliformes fecales no logran servir de indicadores para todos los riesgos, ya que es posible aun con ausencia de estos que el agua esté contaminada con helmintos. Situación por demás alarmante, ya que la dosis infectiva de estos últimos es de un huevo por litro (Ayres *et al*, 1989). Cabe mencionar que los procesos tradicionales de desinfección no remueven los huevos de helminto, los cuales solo se controlan, es decir se separan del agua, por sedimentación prolongada, coagulación-floculación y filtración, para ser luego destruidos en los lodos por desecación y elevación de temperatura.

3.2 Tipos de tratamiento

En el campo de la depuración del agua, se acostumbra distinguir tradicionalmente dos grupos de procesos: los biológicos y los fisicoquímicos, combinados con tres niveles de tratamiento: primario, secundario y terciario (tabla 3.5). Esta clasificación se originó por la evaluación de las necesidades del control de la contaminación del agua.

Además, se ha demostrado que los costos dependen de una gran cantidad de variables y no solo del volumen de lodos producidos, por lo que es necesario cuantificarlos para cada tipo de agua y conjunto de procesos seleccionados. Para ello, es indispensable realizar pruebas de tratabilidad para determinar las eficiencias y costos reales.

A pesar de que a partir de los años 30 el empleo de los procesos fisicoquímicos para tratar agua residual doméstica fue abandonado en muchos países, la inoperancia de los procesos biológicos en climas fríos² (Shao *et al*, 1993), así como la necesidad de tratar agua en cantidad y calidad variables (condiciones que los microorganismos no son capaces de soportar), motivaron la investigación y el desarrollo de técnicas que paliaran el problema de la alta producción de lodos. El principal invento fue la síntesis de floculantes de alto peso molecular y elevada densidad de carga, que permiten manejar dosis bajas de coagulantes (semejantes a las empleadas en los procesos de potabilización) con resultados que han hecho que los procesos fisicoquímicos sean retomados en construcciones recientes (para la 2ª etapa de la planta de París de 45 m³/s y la de Hong Kong de 40 m³/s y en México, en Ciudad Juárez y Mazatlán). De hecho, el TPA es utilizado en varias plantas de gran capacidad, particularmente en Point Loma e Hyperion, en California, EUA, Montreal, en Canadá y Marsella, en Francia. Sin embargo, en todas ellas se carece de experiencia en cuanto a la remoción de parásitos, y huevos de helminto en particular, ya que este no es un problema preocupante para esos países. Por esta razón, en este trabajo se presentan los resultados de adaptar a nivel laboratorio y semindustrial este proceso en México, como una respuesta específica para nuestras necesidades.

3.3 *El tratamiento primario avanzado y el reúso agrícola*

De acuerdo con Murcott *et al* (1996), las características ideales para el reúso del agua en riego agrícola son:

- Elevado contenido orgánico
- Suficiente contenido de nutrientes (N y P)
- Bajo contenido de organismos patógenos
- Bajo contenido de metales y compuestos orgánicos tóxicos.

² En los países escandinavos, 90 % del tratamiento de aguas residuales se realiza por medio de coagulación-floculación.

- Se aplica para el reúso agrícola de agua municipal.
- Mantiene el N, P y la materia orgánica en concentraciones suficientes para la agricultura, lo que para el tipo de suelos de México (en general pobres y erosionables) resulta benéfico, por el enriquecimiento de la capa de humus y el amortiguamiento del efecto de la conductividad sobre el suelo con la materia orgánica y por la fertilización con nitrógeno y fósforo.
- Se adapta a variaciones de flujo, lo que es de interés para México, donde la mayor parte del drenaje es de tipo combinado, con lluvias concentradas en una época definida del año y precipitaciones de corta duración.
- Remueve los huevos de helminto.

4. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO

4.1 Definición

El TPA consiste en aplicar la coagulación-floculación en el tratamiento del agua residual, utilizando diseños compactos y polímeros de alto peso molecular y elevada densidad de carga. Es un proceso en el cual se añaden reactivos químicos al agua para eliminar sólidos suspendidos, materia coloidal y orgánica evaluada como DBO total, principalmente. Este proceso es similar al proceso fisicoquímico comúnmente conocido en potabilización, que tiene más de 100 años de aplicación pero emplea e integra nuevos avances científicos y tecnológicos.

En el campo de la depuración, los procesos fisicoquímicos se dejaron de emplear en 1930, cuando se favorecieron los biológicos, debido al elevado costo de tratar gran cantidad de lodos para lograr una calidad del agua similar a la obtenida con un tratamiento secundario. Actualmente, su aplicación ha retornado con dos fines: la eliminación del fósforo (cuando se aplica en nivel terciario y con elevadas dosis de coagulante) y la obtención de efluentes de calidad media a costos inferiores de los convencionales (Heinzmann, 1994). El nuevo auge del proceso se debe también al reconocimiento de que el costo del tratamiento debe ser acorde con la eficiencia deseada y a que los avances en la síntesis de polímeros floculadores con altas eficiencias han logrado reducir su costo.

Los fundamentos teóricos del proceso primario avanzado tienen que ver con tres aspectos:

- La desestabilización de los sólidos suspendidos
- La formación de flóculos y
- La eliminación de estos de la suspensión.

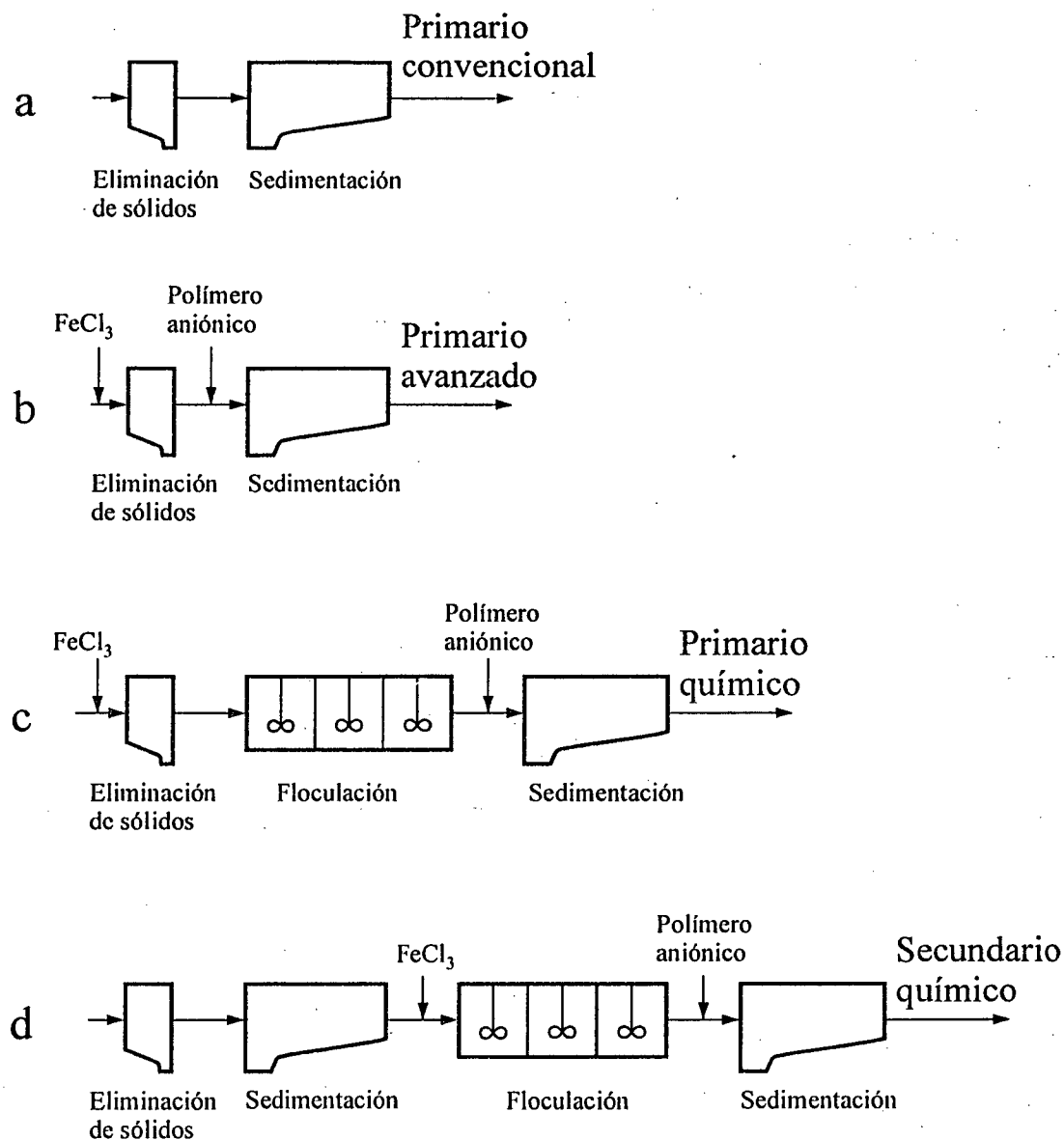


Fig 4.1 Configuraciones básicas del tratamiento fisicoquímico (Shao et al, 1991)

En la tabla 4.1 se muestran las eficiencias en remoción de SST, DBO y PT-P, para los diversos procesos mencionados.

- En materia de los reactivos empleados, principal causa del costo de la operación, definir qué coagulantes y floculantes convienen más y en qué dosis para el tipo de agua de México.
- Encontrar formas para disminuir el consumo de reactivos. En especial, evaluar el efecto del mezclado y del punto de adición del reactivo, ya que parecen ser los que más afectan la cantidad empleada.
- Definir los procesos para completar el tratamiento (sedimentación de alta tasa y filtración) en especial para este último, se desarrollaron criterios de diseño.
- Proponer opciones de desinfección complementaria, evaluando la aplicación de cloro y otros métodos alternos como fue la desinfección con luz ultravioleta y sulfato de cobre.
- Si bien los huevos de helminto son el principal contaminante por controlar, su monitoreo es complejo y costoso, por lo que se consideró necesario desarrollar una técnica alterna de monitoreo adaptada al país.
- Por último, resultó obvia la necesidad de definir las condiciones de tratamiento y disposición de los lodos generados (ricos en patógenos) en este proceso, para cumplir cabalmente con el objetivo de control de la contaminación del medio ambiente.

A partir de estos puntos, se efectuó una investigación durante más de cuatro años, cuyos resultados se integraron en un esquema de tratamiento con los criterios de diseño que se exponen a continuación.

5. ESQUEMA DE TRATAMIENTO ESTUDIADO

El sistema de tratamiento propuesto se basa en el esquema de la fig 5.1.

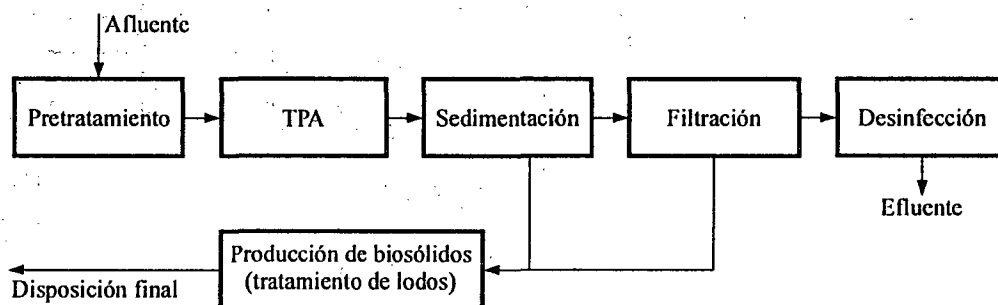


Fig 5.1 Sistema de tratamiento primario avanzado convencional

Para alguno de los componentes, se estudiaron las variantes de la fig 5.2.

En relación con las figuras se señala:

- Para el pretratamiento no se desarrollaron criterios de diseño, se emplearon los tradicionales.
- Para el TPA fue necesario determinar:
 - Tipo y dosis de coagulantes y floculantes
 - Eficiencias de remoción de materia orgánica, sólidos, helmintos y nutrientes.
- Para la sedimentación se contó con dos opciones: una convencional y otra de alta tasa. En ambos casos se desarrollaron criterios de diseño.
- Para la filtración se estudiaron filtros duales, simples de arena y con medio sintético. Los dos últimos resultaron útiles y son los que se incluyen en el trabajo.
- Para la desinfección, se analizó el uso de cloro, luz ultravioleta y sulfato de cobre. En cada caso, se determinaron las condiciones de operación.

5.1 Tipo y dosis de coagulante y floculante, para el agua de México

5.1.1 Coagulante

Se realizaron pruebas de jarras y piloto para probar los tres coagulantes más comunes empleados en un TPA: sulfato de aluminio, cal y cloruro férrico, en aguas de:

- El Gran Canal, en los km 20 y 27.5, DF.
- Río Churubusco, DF.
- El Salto, en Tepeji del Río, Qro.
- El Emisor del poniente, DF.
- EPCCA (Empresa para el control de la contaminación del agua del corredor industrial Lerma-Toluca), Toluca, Méx.
- Cancún, QR
- Ciudad Universitaria, DF.
- Guadalajara, Jal.
- Mazatlán, Sin.
- Ciudad Juárez, Chih.

Estas aguas cubren una amplia gama de los tipos de descargas que se pueden presentar en el país, ya que incluyen aguas residuales “muy frescas” y predominantemente domésticas (como las de Cancún y Mazatlán), aguas industriales (la de EPCCA), aguas muy sépticas y con bajo contenido de sólidos (la del Gran Canal en los km 20 y 27.5) y aguas con elevado contenido de sólidos (la del Salto, Tepeji del Río y el Salto, en Guadalajara).

Para el caso de pruebas de jarras, en la tabla 5.1 se presentan las condiciones de mezclado empleadas en cada caso:

Tabla 5.1 Condiciones de mezclado empleadas en las pruebas de jarras

PROCESO	RÉGIMEN, en rpm	TIEMPO
Coagulación	100	30 s
	60	2 min
Floculación	100	10 s
	20	3 min
Sedimentación	0	5 min

Con las pruebas realizadas, se obtuvieron los resultados que a continuación se describen para cada uno de los coagulantes.

5.1.1.2 Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio funcionó bien con todas las aguas. Lo importante de destacar es:

- Las pruebas se realizaron variando desde 5 hasta 200 mg/l la concentración de sulfato de aluminio anhidro. La mejor remoción de sólidos suspendidos se obtuvo con dosis entre 15 y 50 mg/l en todas las aguas, con eficiencias de remoción de SST desde 66 % hasta 90 %.
- Debido a la alta alcalinidad del agua residual, y empleando un análisis de costo-beneficio, se concluyó que no es conveniente trabajar en ningún caso al nivel óptimo de pH, como lo establecen todos los libros para este coagulante, ya que resulta más caro acidificar el agua residual que incrementar las dosis hasta en 40 %.

Además, para dosis de 50 a 135 mg/l la eficiencia de remoción es prácticamente constante e igual a 80 %. En la tabla 5.3, se presentan las dosis óptimas y la remoción de SST alcanzada en los diferentes tipos de agua probados.

Tabla 5.3 Aplicación de sulfato de aluminio en pruebas de jarras

PUNTOS MUESTREADOS	DOSIS DE COAGULANTE, en mg/l	SST entrada, en mg/l	SST salida, en mg/l	η , en %
Gran Canal, km 20	50	184	43	77
Gran Canal, km 27.5	40	95	28	71
Emisor poniente	25	150	46	69
Río Churubusco	20	110	38	66
El Salto, Qro	30	227	45	80
Cancún, QR	15	156	30	81
Toluca, Méx	20	1200	20	90

- El flóculo producido con sulfato de aluminio es de fácil sedimentación; sin embargo, se recomienda el uso de un polielectrólito para asegurar la remoción.

5.1.1.3 Hidróxido de calcio

Con este coagulante, se evaluaron dosis desde 15 hasta 240 mg/l, y se encontró que las dosis óptimas varían entre 90 y 240 mg/l para alcanzar remociones de SST mayores de 70 %, en todos los casos.

Las observaciones sobre este coagulante son:

- El hidróxido de calcio genera una elevación del pH superior a la cantidad que marca la norma de reúso en riego, problema que limita la aplicación de este coagulante.

decantación. A pesar de que la literatura señala que para agua residual doméstica se emplean polímeros aniónicos, se seleccionaron 34 floculantes de diversas casas comerciales y se compararon bajo las mismas condiciones de operación, empleando las dosis óptimas de coagulante. La tabla 5.4 presenta los floculantes estudiados que incluyen aniónicos, catiónicos y zwitteriónicos de diversos pesos moleculares y densidades de carga.

Tabla 5.4 Polielectrólitos empleados en diversas aguas residuales
(Water Environmental Research Foundation, 1993)

NOMBRE DEL POLIELECTRÓLITO	ESPECIFICACIONES
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular bajo, alta carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular bajo, baja carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular medio, alta carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular medio, baja carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular normal, alta carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular normal, baja carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular alto, alta carga
Chemica Deltha	Aniónico, peso molecular alto, baja carga
Nalco D4H05	Aniónico, alta carga
Superfloc A130	Aniónico, alta carga
Prosifloc A-252	Aniónico, alta carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular bajo, alta carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular bajo, baja carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular medio, alta carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular medio, baja carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular normal, alta carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular normal, baja carga
Chemica Deltha	Catiónico, peso molecular alto, alta carga
Zwitteriónico, tipo I	Peso molecular bajo
Zwitteriónico, tipo II	Peso molecular medio
Zwitteriónico, tipo III	Peso molecular medio
Zwitteriónico, tipo IV	Peso molecular alto
ICA	Aniónico
Superfloc	Aniónico
Nalcomex	Aniónico
Prosifloc	Aniónico
PLT-26	Aniónico
PLT-27	Aniónico
Photafloc 1126	Aniónico
PLT-25	Aniónico
P-764	Aniónico
PE-24	Aniónico
Photafloc 1123	Aniónico
Photafloc 1124	Aniónico

De los resultados se desprende que, en realidad, los tres tipos de floculantes (aniónicos, catiónicos o zwitteriónicos) se pueden aplicar con cualquiera de los coagulantes, todo

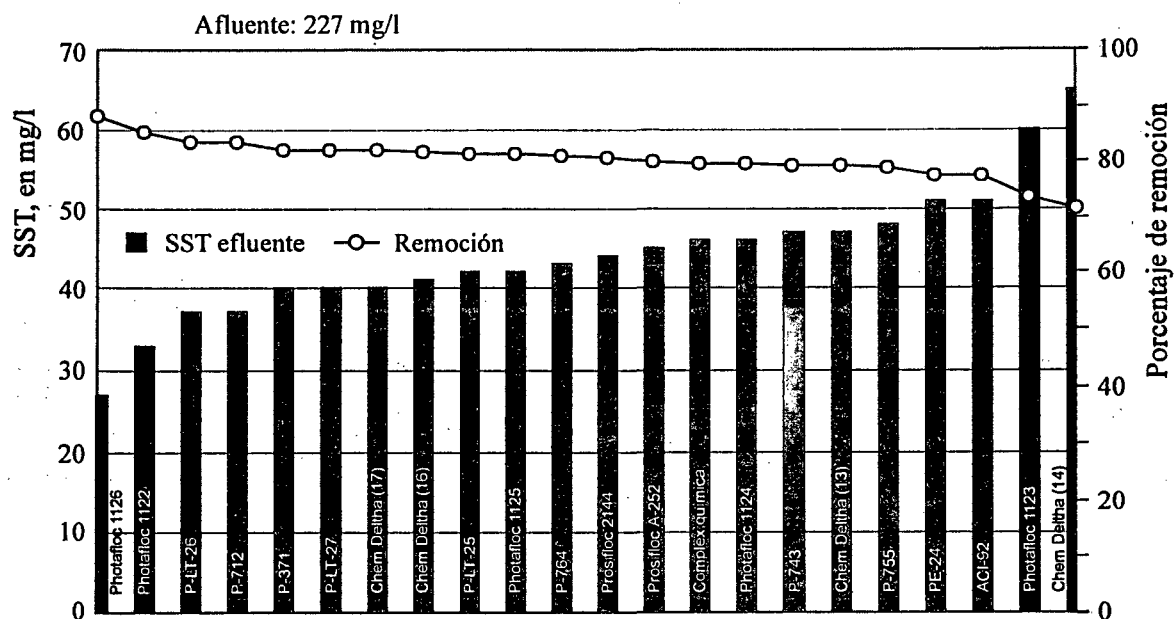


Fig 5.5 Remoción de SST empleando varios floculantes (0.4 mg/l) y 20 mg/l de sulfato de aluminio, planta Chichen Itzá, en Cancún, QR (Jiménez, Chávez, 1996a)

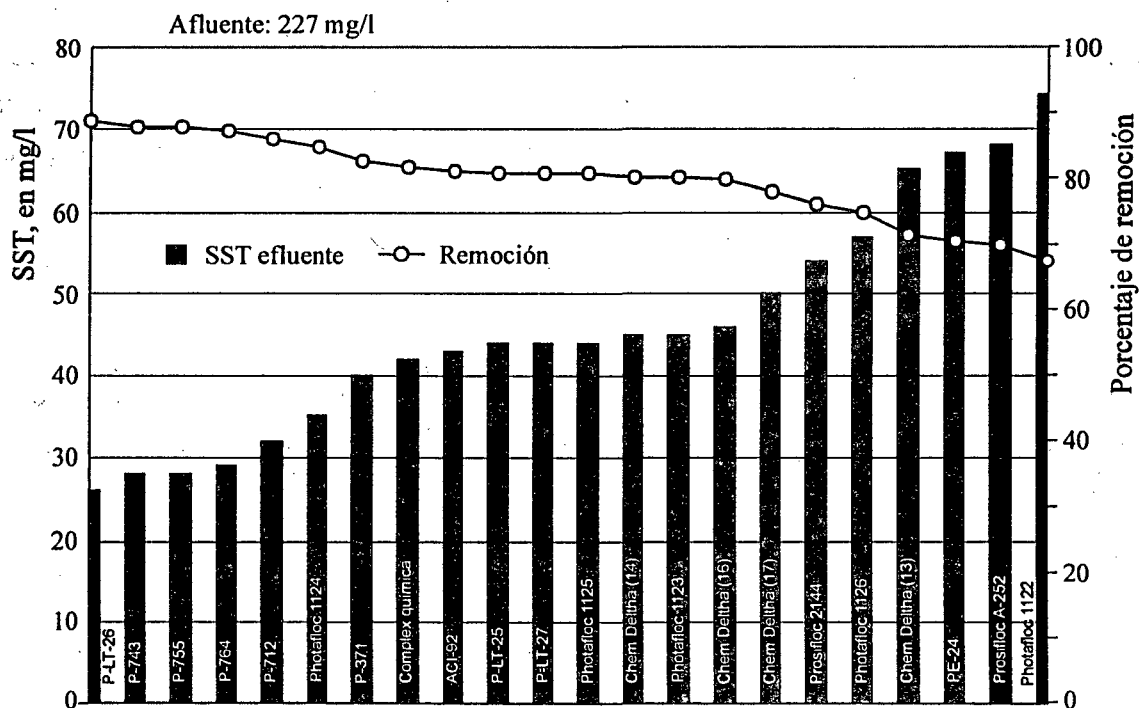


Fig 5.6 Remoción de SST empleando varios floculantes (0.4 mg/l) y 140 mg/l de hidróxido de calcio, planta Chichen Itzá, en Cancún, QR (Jiménez y Chávez, 1996a)

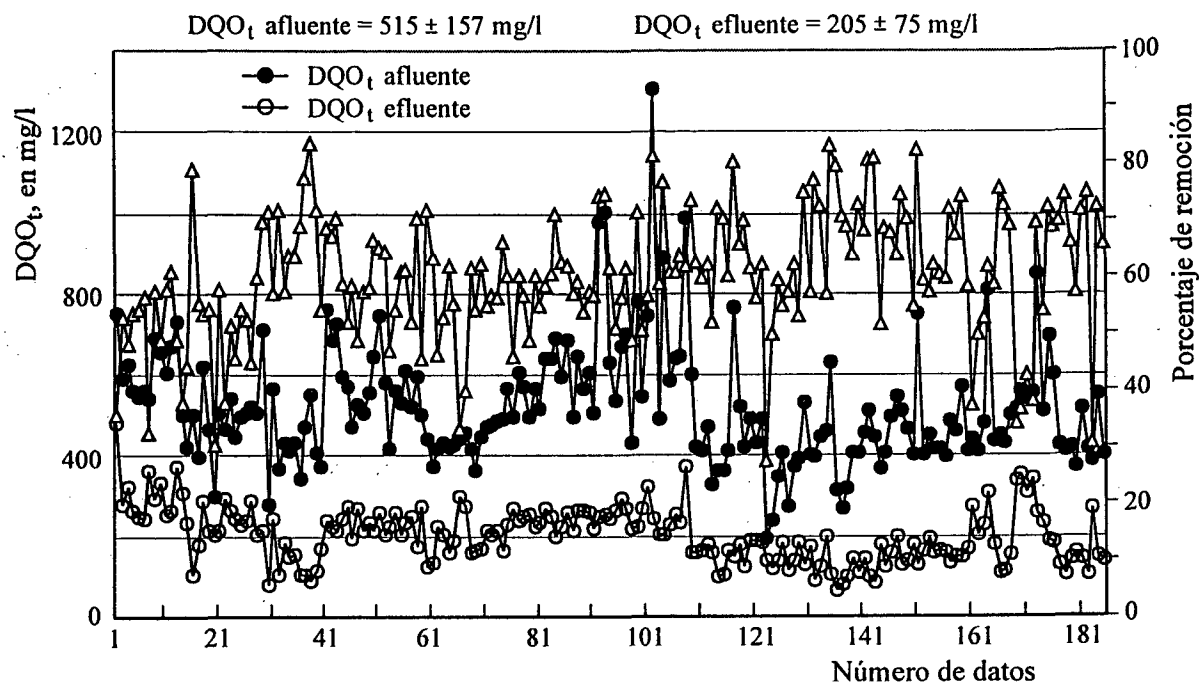


Fig 5.7 Remoción de la DQO_t empleando un TPA y sulfato de aluminio, Emisor Central, Tepeji del Río, Qro (Jiménez, Chávez y Capella, 1997)

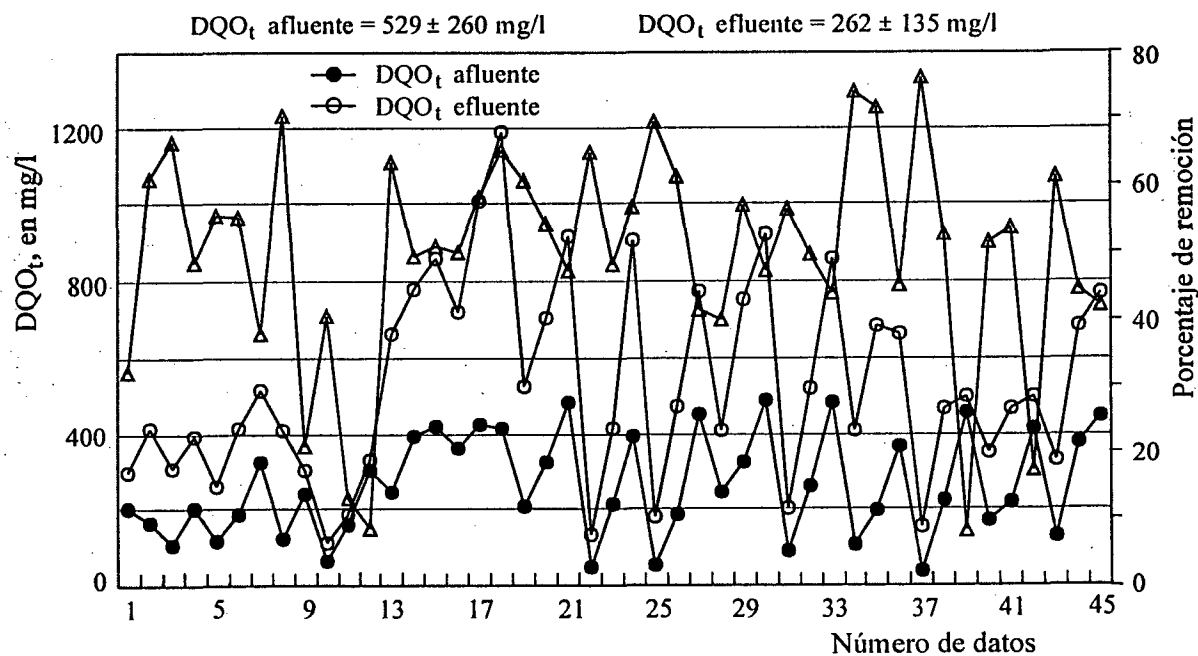


Fig 5.7a Remoción de la DQO_t empleando un TPA y sulfato de aluminio, El Salto, Guadalajara, Jal (adaptado de Landa, Leyva y Jiménez, 1998)

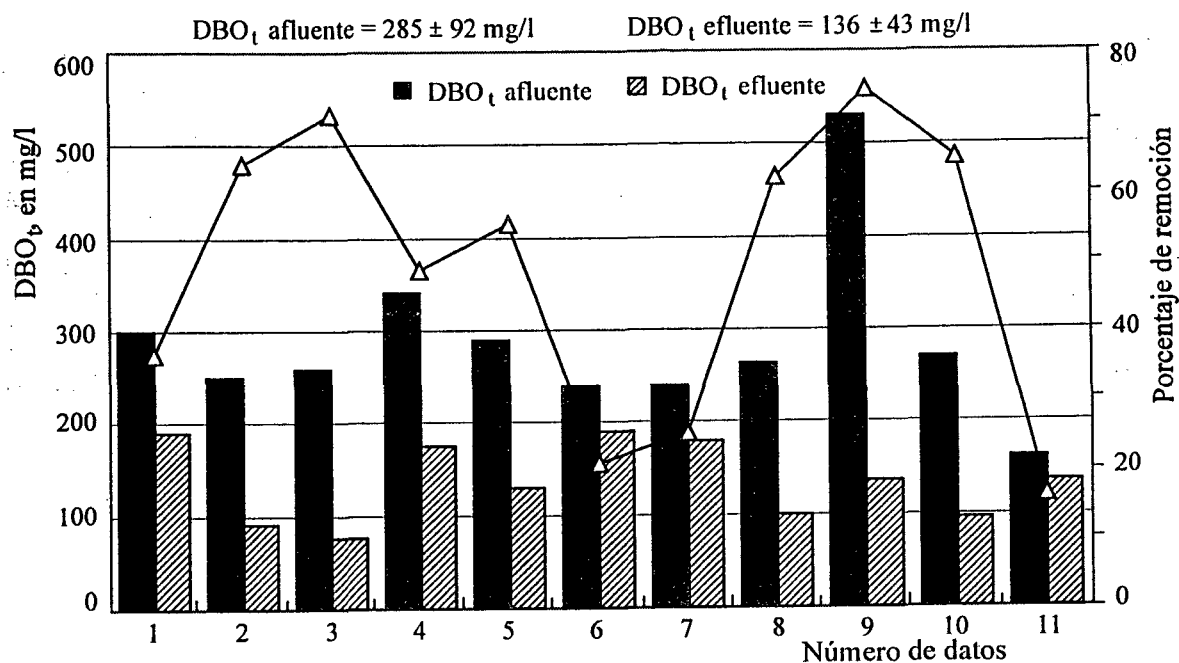


Fig 5.9 Remoción de la DBO_t empleando un TPA y sulfato de aluminio, El Salto, Guadalajara, Jal (adaptado de Landa, Leyva y Jiménez, 1998)

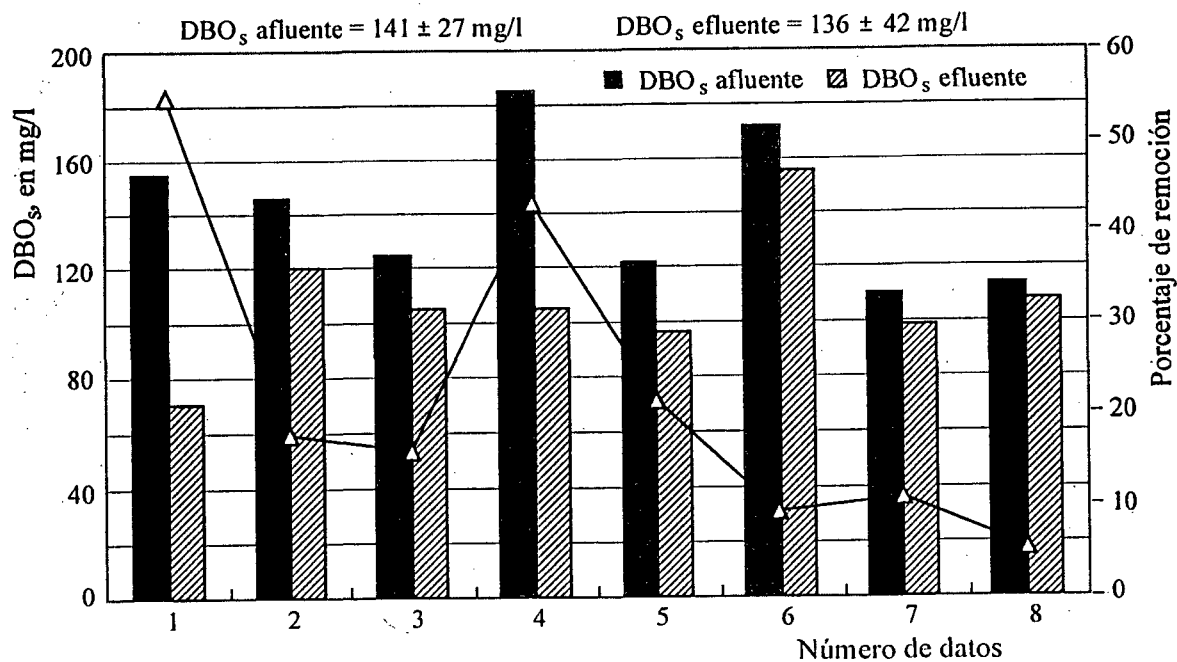


Fig 5.10 Remoción de la DBO_s empleando un TPA y sulfato de aluminio, El Salto, Guadalajara, Jal (adaptado de Landa, Leyva y Jiménez, 1998)

Para el caso del fósforo, en un sistema en continuo se pueden alcanzar remociones de 30 a 90 % (71 % como promedio); sin embargo, la concentración remanente será suficiente para garantizar un aporte extra a los suelos (2.0 ± 0.5 mg/l) (fig 5.13). Además, este aporte dependerá primeramente del contenido propio del agua residual y de la cantidad de coagulante que se requiera aplicar. En la fig 5.14 se muestra la eliminación de fósforo alcanzada, de acuerdo con la dosis de coagulante aplicado, y con base en estos resultados, de una dosis de 50 mg/l de sulfato de aluminio anhidro, se espera un remanente de 2.15 mg/l de fósforo total en el agua ya tratada con este sistema.

Cabe destacar que la remoción de fósforo es fuertemente dependiente de la dosis de sulfato de aluminio, por lo que se puede controlar disminuyendo la dosis de reactivo.

A pesar de las eliminaciones mostradas, la tabla 5.5 muestra las aportaciones de nutrientes que se darían al suelo por medio del agua tratada con un sistema de TPA aplicado en el agua de México, tomando en cuenta un ciclo agrícola de 180 días. Como se observa, para cultivos tradicionales del país (maíz, frijol y alfalfa) se siguen satisfaciendo las necesidades.

Tabla 5.5 Aportación de nutrientes con el efluente del tratamiento primario avanzado (Jiménez, Chávez y Hernández, 1998)

APORTACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA		MAÍZ (necesidades) (kg/ha)		FORRAJES (necesidades) (kg/ha)		ALFALFA (necesidades) (kg/ha)	
NTK-N ¹	PT-P ²	NTK-N	PT-P	NTK-N	PT-P	NTK-N	PT-P
300 a 350	15 a 55	40 a 160	30 a 50	60 a 100	30 a 50	40	60

1. Tomando en cuenta que se aplican 50 mg/l de sulfato de aluminio y se logra una eficiencia de remoción de 17.5 % (16.5 mg NTK/l en el efluente)
2. Misma consideración solo que en este caso la remoción es de 71 % (2.5 mg PT-P/l en el efluente)

5.2.4 Remoción de huevos de helminto

El contenido de huevos de helminto en el agua residual es muy variado y se recomienda sea determinado para cada tipo de afluente problema. En la tabla 5.6 se presenta el contenido de huevos de helminto determinado en cuatro ciudades, el cual varía desde 2 hasta 375 HH/l. En la fig 5.15, se presentan los géneros comúnmente encontrados. Entre ellos, *Ascaris* sp es el de mayor importancia (90 %) desde el punto de vista epidemiológico (la técnica de determinación se presenta en el apéndice 2).

Huevos de helminto 29 ± 15 HH/l
SST 284 ± 149 mg/l

264 muestras determinadas

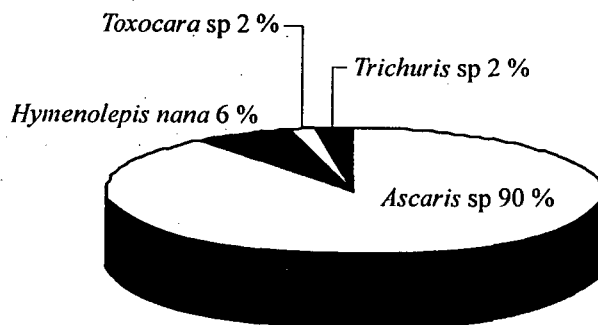


Fig 5.15 Géneros comúnmente encontrados en el agua cruda, El Salto, Tepeji del Río, Qro (Jiménez y Chávez, 1998)

En la fig 5.16 se presenta un ejemplo de remoción de huevos de helminto con el empleo de un TPA, aplicando dosis de 50 mg/l de sulfato de aluminio y 1.0 mg/l de polielectrólito aniónico. Con esa dosis, se logran eliminar hasta 1.8 ± 1.1 HH/l, con un máximo de 4.4 y un mínimo de 0.4 HH/l. Los valores en el agua residual variaron entre 9 y 49 HH/l, y con un valor promedio de 24.1 HH/l, valores típicos para este tipo de agua residual.

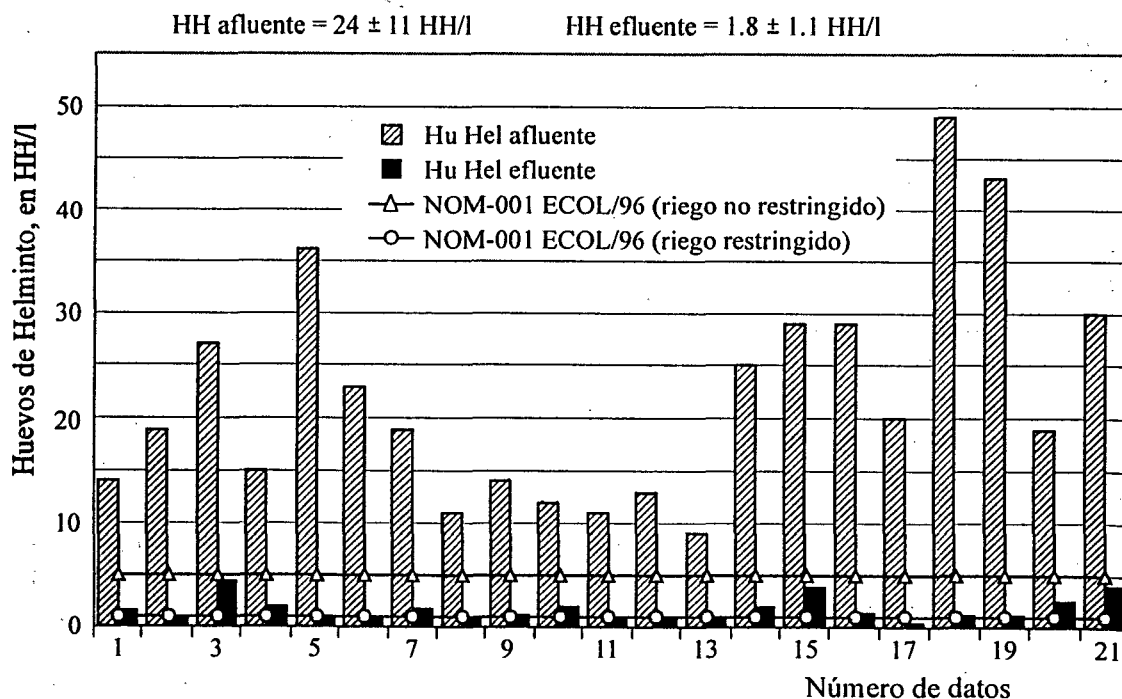


Fig 5.16 Remoción de huevos de helminto empeando un TPA, planta piloto, Emisor Central, Tepeji del Río, Qro (adaptado de Jiménez y Chávez, 1997)

5.3 Necesidades de unidades específicas de coagulación y floculación

En una planta piloto de 70 l/s en el Gran Canal, km 27.5, se pudo comprobar que no son necesarios los tanques de mezcla rápida ni los de floculación y que el coagulante puede ser agregado antes del desarenador aerado que actúa como unidad de coagulación, mientras que el floculante se puede añadir a la entrada del sedimentador en varios puntos. Algunas de estas variantes se mencionan en estudios realizados en las plantas de Los Ángeles, San Diego y Montreal. Estas adaptaciones permiten ahorrar hasta 25 % de la obra civil de un tratamiento fisicoquímico convencional. La tabla 5.8 y la fig 5.17 presentan las diferentes condiciones de operación estudiadas, que sirvieron de apoyo para lo anteriormente expuesto.

Tabla 5.8 Condiciones de operación en las diversas etapas del seguimiento de planta piloto

CONDICIONES DE ESTUDIO	PUNTO DE ADICIÓN DEL COAGULANTE EN LA PLANTA	PUNTO DE ADICIÓN DEL FLOCULANTE EN LA PLANTA
1	Tanque de mezcla rápida	Tercera cámara de floculación
2	Tanque de mezcla rápida	Primera cámara de preaeración
3	Tanque de mezcla rápida	Entrada del sedimentador (<i>by-pass</i>)
4	Final de la tercera cámara de preaeración	Entrada del sedimentador (<i>by-pass</i>)
5	Mitad de la tercera cámara de preaeración	Entrada del sedimentador (<i>by-pass</i>)
6	Final de la segunda cámara de preaeración	Entrada del sedimentador (<i>by-pass</i>)
7	Tercera cámara de preaeración	Entrada del sedimentador (<i>by-pass</i>)
8	Mitad de la segunda cámara de preaeración	Entrada del sedimentador (<i>by-pass</i>)
9	Tercera cámara de preaeración	Tanque de mezcla rápida
10	Final de la segunda cámara de preaeración	Tanque de mezcla rápida
11	Mitad de la tercera cámara de preaeración	Tanque de mezcla rápida

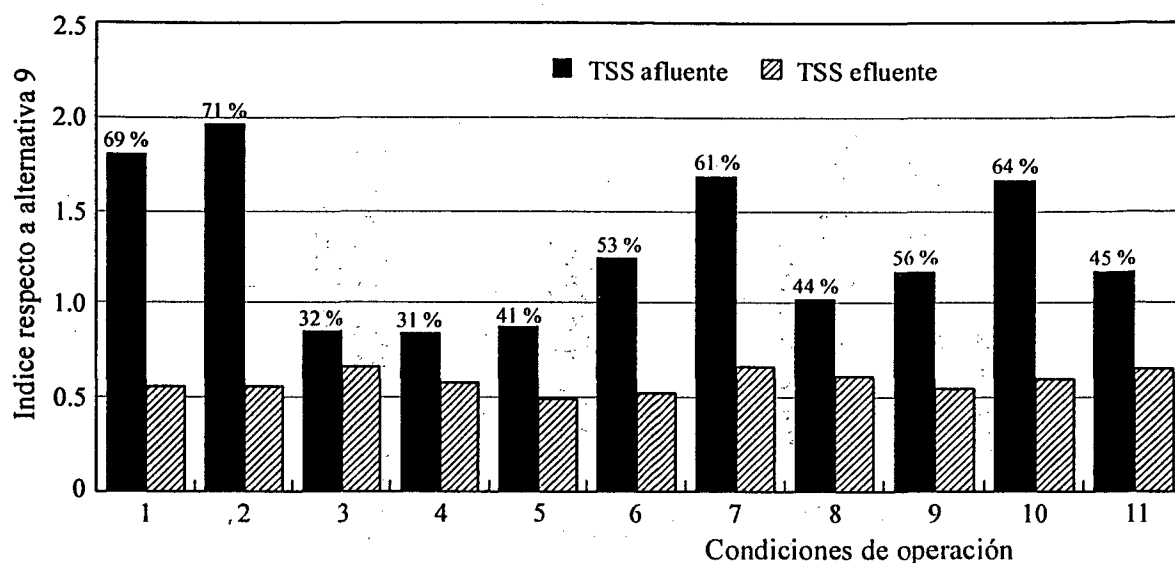


Fig 5.18 Comportamiento de los SST en relación con diferentes condiciones de operación en una planta piloto, Gran Canal, km 20 (Jiménez y Chávez, 1996b)

5.4 Desarrollo de una técnica para el escalonamiento del proceso

Con mucha frecuencia, para efectuar un diseño, el proyectista solo tiene oportunidad de efectuar ensayos en laboratorio para determinar los criterios de diseño. Por ello, se desarrolló una metodología que permitiese simular el TPA en jarras lo más aproximadamente posible a un proceso en continuo y a gran escala. El protocolo está basado en el tiempo y régimen de mezclado que se tiene en cada una de las etapas contenidas en la planta por diseñar. Como parámetro de extrapolación para el desarrollo de estas condiciones, se utilizaron el tamaño del flóculo presente en las cámaras, las velocidades de sedimentación y el contenido de sólidos suspendidos totales a la entrada y salida de cada etapa. Las condiciones del ensayo propuesto se muestran en la tabla 5.10, y con ellas, se logra una simulación aceptable del proceso (fig 5.19).

Tabla 5.10 Condiciones de mezclado empleadas para simular las condiciones de la planta piloto (70 l/s)

PROCESO	RPM	TIEMPO, en min
Coagulación	100	0.5
Floculación	70	2.0
	55	2.0
	30	2.0
	70	2.0
Sedimentación	0	5.0

5.6 Filtración del efluente con tratamiento primario avanzado

5.6.1 Filtración

A la fecha, no hay estudios sobre la filtración de un efluente con TPA, por lo que se estudió la filtración dual (arena-antracita), la simple (arena de 0.8, 1.2, 1.7, 2.0 y 3.0 mm) y con un medio sintético (esponjas plásticas). La filtración dual fue descartada por su mala operación, por lo que solo se presentan los resultados con la arena y medio sintético.

5.6.1.1 Filtración con arena

La fig 5.20 muestra la remoción de sólidos suspendidos y huevos de helminto lograda con arena de 2.0 mm y diferentes velocidades. Se observa que es posible bajar los sólidos hasta concentraciones entre 8 y 20 mg/l.

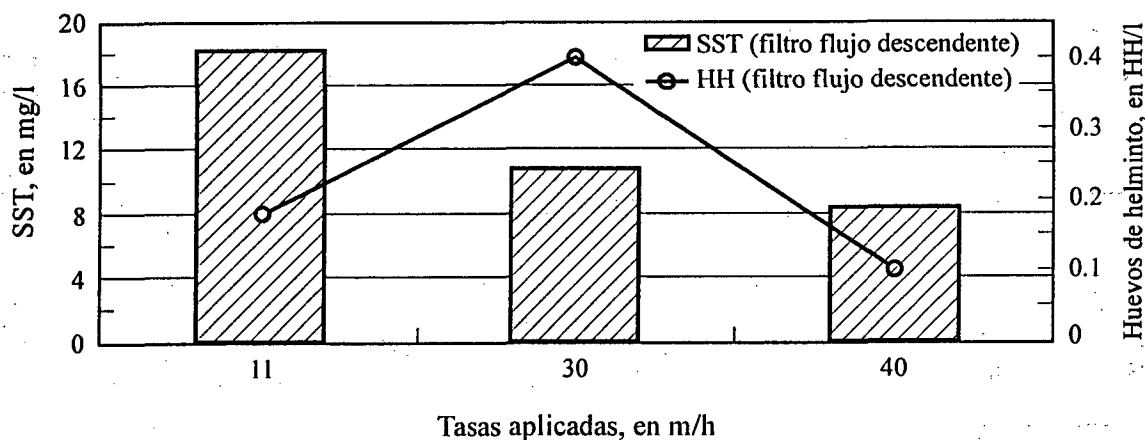


Fig 5.20 Remoción de SST y huevos de helminto con el sistema de filtración, Emisor Central, Tepeji del Río, Qro (Jiménez, Chávez y Hernández, 1998)

Las pruebas realizadas con diversas tasas de filtración dieron como resultado los tiempos de carrera que se muestran en la tabla 5.12, de donde se concluye que, para obtener duraciones de corrida rentables (> 24 h), se deben tomar en cuenta los parámetros establecidos en la tabla para cada caso, así como la calidad del agua que entra dentro del sistema.

En cuanto a la remoción de huevos de helminto, que realmente es el motivo de la instalación del filtro, la tabla 5.13 muestra los resultados con amplio detalle. En estos estudios se incluyeron como parámetros de diseño: tamaño del medio, altura de la cama, velocidad de filtración y dirección del flujo. Para cada caso, se realizaron más de tres corridas y los resultados presentados son el valor promedio obtenido en cada caso. Con base en esto, se observa que la filtración logra asegurar que el efluente contenga menos de 1 HH/l, lo que con las diversas tasas de sedimentación estudiadas no se hacía en forma sistemática. Por ello, se recomienda acoplar un filtro al TPA cuando se desee tener menos de 1 HH/l para regar todo tipo de cultivo, de acuerdo con la NOM-001-ECOL/96.

Tabla 5.13 Concentración de huevos de helmito de acuerdo con la tasa de filtración aplicada

TASAS, en m/h	DURACIÓN DE CARRERA, en h	TE, en mm	ALTURA DE CAMA, en m	HH entrada, en mg/l	HH salida, en mg/l	OBSERVACIÓN
7	25	0.8	1.0	0.9	0.0	Afluente del Gran Canal, km 20, flujo descendente
10	22	0.8	1.0	1.2	0.24	
12	18	0.8	1.0	1.5	0.05	
15	13	0.8	1.0	1.5	0.0	
7	38	1.2	1.0	0.8	0.05	Afluente del Gran Canal, km 20, flujo descendente
10	31	1.2	1.0	1.7	0.02	
12	25	1.2	1.0	3.1	0.0	
15	16	1.2	1.0	1.5	0.27	
10	32	1.2	0.96	1.0	0.22	Afluente del Gran Canal, km 27.5, flujo descendente
12	22	1.2	0.96	1.3	0.44	
18	10	1.25	1.0	1.2	0.0	Afluente del Emisor Central, Tepeji del Río, flujo descendente
21	13	1.25	1.0	1.2	0.63	
30	119	1.25	1.0	1.0	0.46	
18	10	1.75	1.0	1.2	0.2	Afluente del Emisor Central, Tepeji del Río, flujo descendente
21	19	2.0	2.0	2.1°	0.9	Afluente del Emisor Central, Tepeji del Río, flujo descendente
30	14	2.0	2.0	1.0	0.8	
40	9.0	2.0	2.0	1.2	0.7	
50	6.0	2.0	2.0	1.2	0.2	
30	24	1.6-6.3	1.2	1.1	0.3	Afluente del Emisor Central, Tepeji del Río, medio estratificado, flujo ascendente
40	22.5		1.2	1.6	0.8	
11	16.6	3.2	1.0	1.2	0.4	Afluente del Emisor Central, Tepeji del Río, flujo descendente
30	23	3.2	1.0	1.1	0.4	
40	23	3.2	1.0	1.4	0.0	

Tabla 5.14 Criterios empleados para el retrolavado de filtros

PERIODO	VELOCIDAD, en m/h	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN	ALTURA, en cm
Primero	75-80	16	18-20
Segundo	45-55	8	8-10
Enjuague	75-80	16	18-20

Por otra parte para el retrolavado puede emplearse el sistema de lavado con aire y agua, siguiendo lo establecido por Metcalf y Eddy, 1989 y la Water Environmental Federation, 1992.

5.6.1.3 Filtración con medio sintético (esponjas plásticas o filtro Fuzzy)

El tipo de filtro presentado posee características inusuales como ser altamente poroso (aproximadamente 88 a 90 %) y compresible. Al emplear este tipo de sistema, se logró operar a una velocidad hasta de 87 m/h con eficiencias de remoción de sólidos suspendidos y huevos de helminto equivalentes a las del sistema de filtración de arena. En consecuencia, este medio reduciría las necesidades de área de filtración teóricamente seis veces, aunque en realidad sería cuatro veces, si se consideran los mecanismos complementarios del proceso. Esta opción resulta interesante para los lugares donde el costo de obra civil resulte elevado, como es el caso de las zonas con hundimiento de la ciudad de México que implican un tipo de cimentación muy particular.

En la tabla 5.15 se presenta una comparación de las diversas tasas aplicadas sobre la remoción de SST y el volumen total de agua tratada. Se encontró que la disminución del área será de tres veces en lugar de seis (tabla 5.16).

Tabla 5.15 Comportamiento del filtro Fuzzy cuando se emplean varias velocidades

TASA, en m/h	Q, en m ³ /h	DURACIÓN, en h	VOLUMEN TOTAL TRATADO, en m ³	SST afl y efl (TASA, en g)	SST REMOVIDOS, en g	REMOCIÓN ALCANZADA, en porcentaje
21	4.53	7.5	34	1147/567	580	50
27	5.67	7.0	39	1326/995	526	39
32	4.25	16	110	2420/1155	1265	52
87	8.57	7.7	65.7	2046/1241	805	39

5.7 Distribución del tamaño de partícula

Una contribución al desarrollo de nuevas alternativas de seguimiento y evaluación de un proceso de tratamiento fue llevar a cabo un monitoreo sobre el tamaño y distribución de las partículas para cada una de las etapas que componen el sistema. Partiendo de la teoría de que el tamaño de los huevos de helminto oscila entre 20 y 80 μm y la densidad va de 1.056 a 1.238 (Ayres, 1989), la fig 5.23 muestra el cambio de distribución que se logra cuando se operan los sistemas en condiciones óptimas. El área bajo la curva es el promedio de los SST (mg/l) en relación con el tamaño de partícula (μm); para el caso del agua cruda, el 52.7 % de las partículas se encuentra en el área donde existe la probabilidad de que los huevos de helminto estén presentes; si el agua se somete a un TPA el área disminuye a 5.5 % y, una vez filtrada, los valores son de 2.1 % para el efluente del filtro con medio sintético y 0.5 % para el del filtro de arena. En otras palabras, la probabilidad de no encontrar huevos de helminto en el sistema fue de 98 % y 99.5 %, respectivamente.

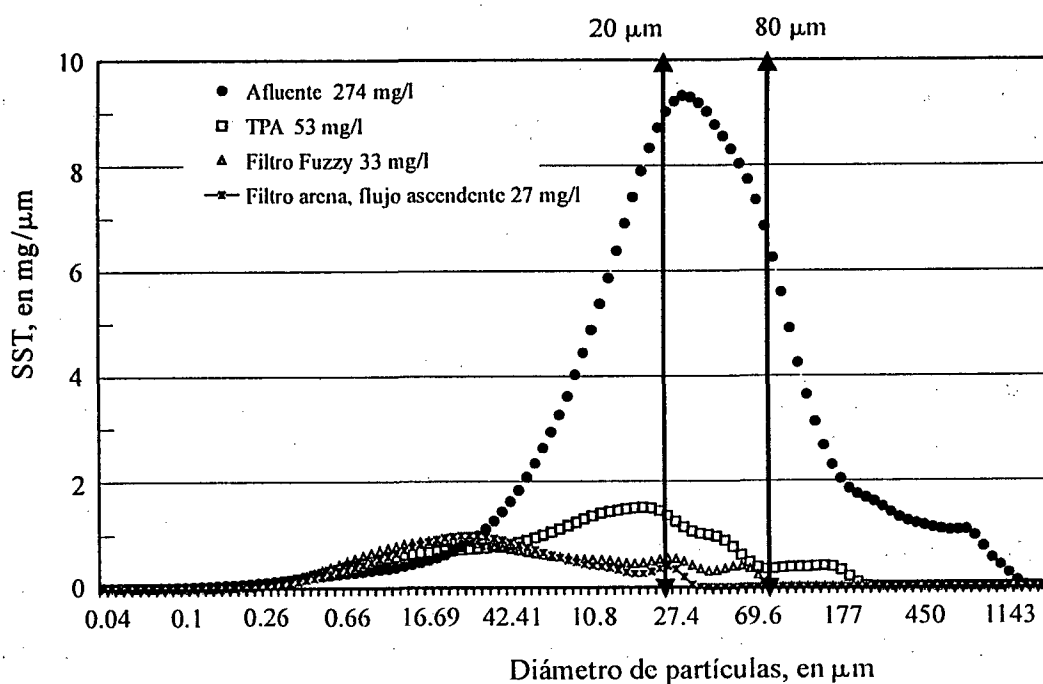


Fig 5.23 Distribución de la partícula en el dren de tratamiento, Tepeji del Río, Qro (Jiménez, Chávez y Hernández, 1998)

Tabla 5.18 Trasmittancia de luz ultravioleta del agua residual cruda y tratada

AGUA CRUDA	EFLUENTE TPA	EFLUENTE TPA + FILTRACIÓN	PUNTO DE MUESTREO
0-2 %	6 %	15 %	Gran Canal, km 27.5
6-10 %	40-65 %	70-89 %	Cancún, QR
0-5 %	7-13 %	17-34 %	Emisor Central

A pesar de ello, la dosis encontrada para el Gran Canal (20 mWs/cm^2), con la cual se obtiene 35 UFC/100 ml, permite afirmar que esta es también una opción para el tratamiento del efluente TPA (fig 5.24). Comparativamente, se menciona que en el efluente TPA del agua de Cancún, la trasmittancia es de 65 % sin filtrar y 89 % con una filtración.

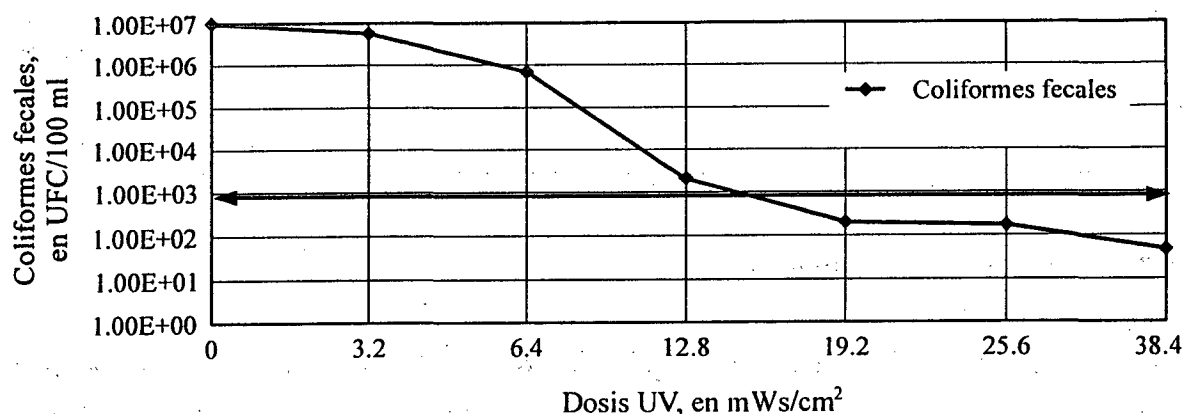


Fig 5.24 Desinfección con luz ultravioleta en efluente proveniente del TPA con filtración empleando lámparas de alta intensidad y presión mediana

5.8.3 Desinfección con luz ultravioleta y cloro

Como ocurre en la mayor parte de los procesos de tratamiento de agua, la desinfección constituye una etapa complementaria para controlar específicamente coliformes fecales. En este trabajo, se determinó la desinfección con luz ultravioleta, empleando lámparas de baja presión y baja intensidad, combinada con cloro. La tabla 5.19 muestra los resultados obtenidos; bajo estas condiciones la dosis de cloro por utilizar se reduce 50 % (5 a 6 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$).

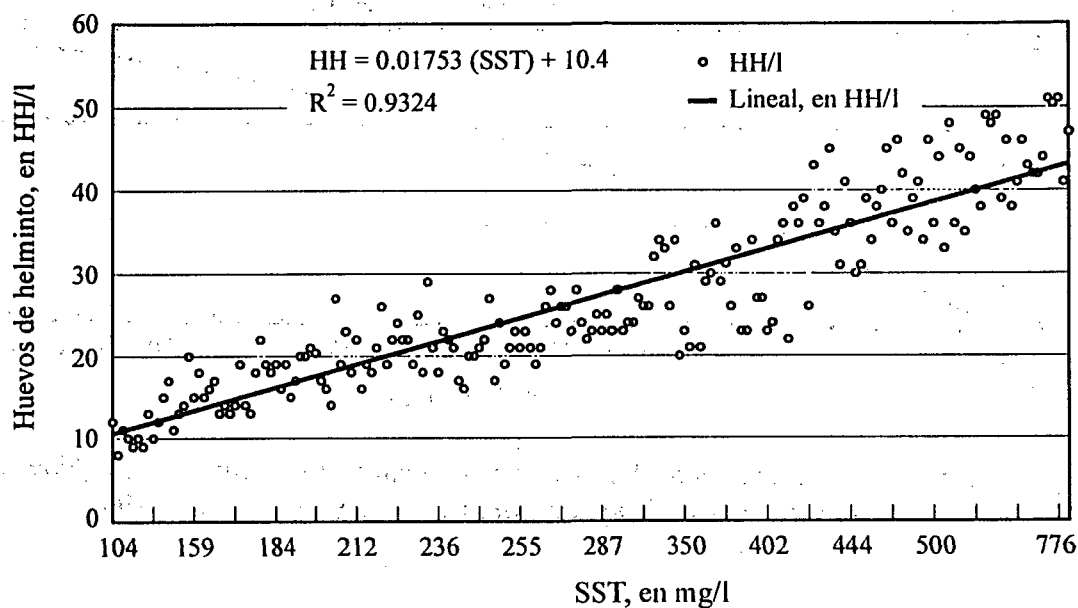


Fig 5.25 Correlación entre SST y HH en el agua cruda, Emisor Central, Tepeji del Río, Qro (Jiménez y Chávez, 1998)

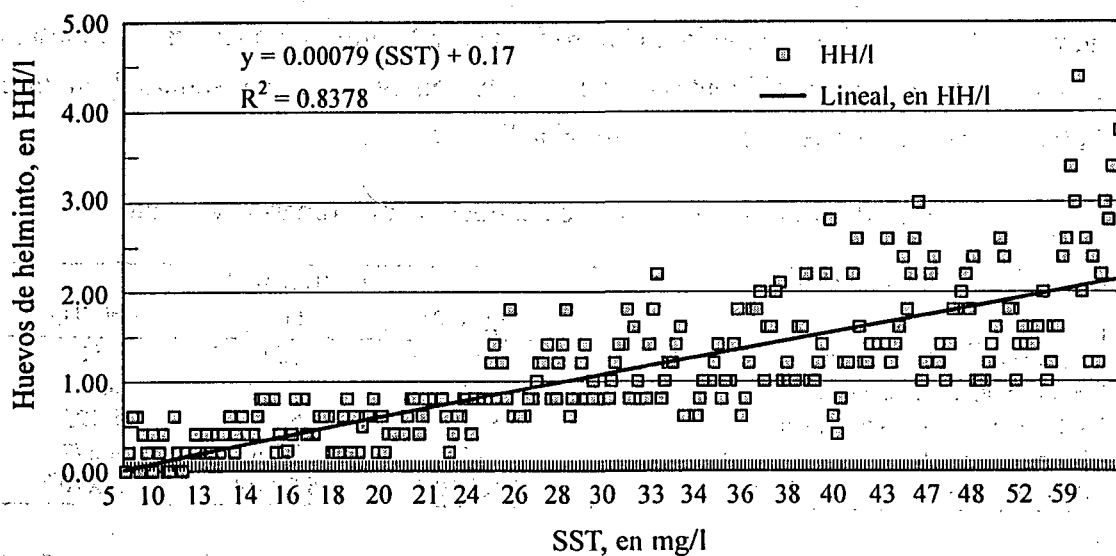


Fig 5.26 Correlación entre SST y HH en el agua tratada con TPA, Emisor Central, Tepeji del Río, Qro (Jiménez y Chávez, 1998)

5.21. Como se puede observar, las densidades de coliformes fecales y *Salmonella* sp se reducen considerablemente al añadir la cal viva; sin embargo, los huevos de helminto muestran una menor reducción y, como se indica en la fig 5.28, con una concentración de 15 a 40 % de CaO, los coliformes fecales se encuentran en el intervalo de valores recomendados por la USEPA para producir biosólidos tipo B. La destrucción de los huevos de helminto se puede atribuir al aumento en el pH, así como a una desecación causada por la cal viva. El aumento en la temperatura de las muestras no se considera importante en este caso, debido a que no se elevó más de 47 °C. Aun cuando las concentraciones de huevos en los lodos estabilizados son menores que al inicio, son mayores que las reportadas para lodo crudo de plantas de tratamiento de la ciudad de Chicago (< 1 huevo/g ST, Lue-Hing, 1998). Ello concuerda con los altos niveles de parasitosis registrados en la población de nuestro país.

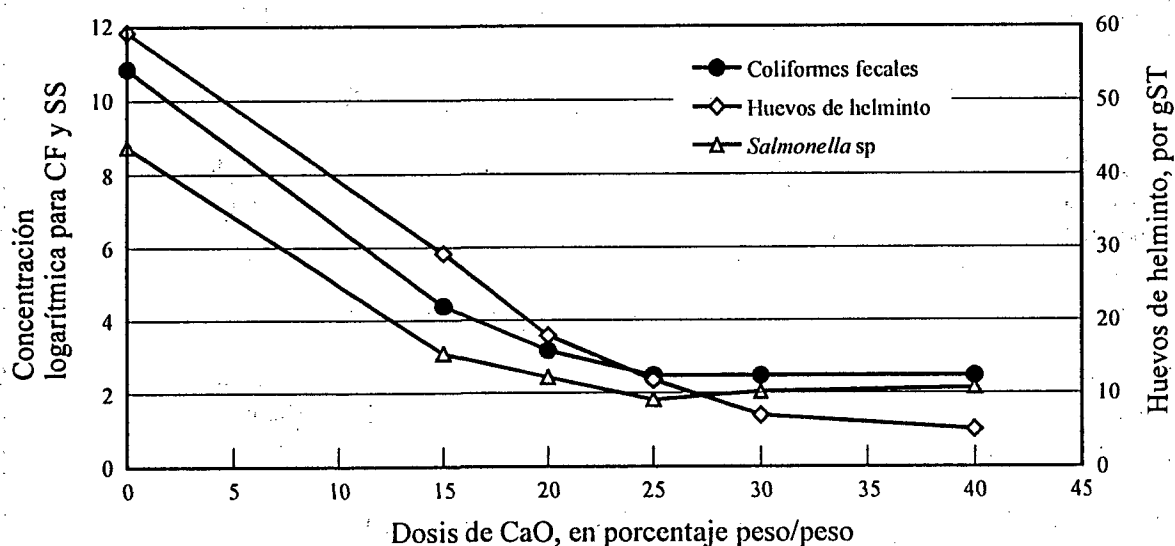


Fig 5.28 Remoción de microorganismos en lodos provenientes del sistema TPA mediante posestabilización alcalina (adaptada de Jiménez, Muñoz y Barrios 1997)

GRUPO 1: Tratamiento fisicoquímico o primario avanzado para el agua. Comprende las opciones 1 a 4 y la diferencia fundamental entre ellas radica en el precesamiento de lodos.

GRUPO 2: Tratamiento biológico a base de lodos activados para el agua. Comprende las opciones 4 y 8, que como en el caso anterior, se diferencian por los esquemas de los procesos empleados para lodos.

GRUPO 3: Tratamiento biológico anaerobio. Comprende las opciones 9 y 10, que contemplan un proceso diferente para los lodos.

Se calculó en cada caso la producción de lodos en masa y volumen para las diez opciones (tabla 5.22), de las cuales ocho producen lodos tipo A, y dos lodos tipo B (opciones 3 y 7). Los cálculos se efectuaron en una hoja de cálculo con objeto de poder revisar y cambiar las condiciones de diseño. El detalle se presenta en el apéndice 3.

Tabla 5.22 Descripción de los esquemas comparativos

TRATAMIENTO DE AGUA	ALTERNATIVA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	TPA	TPA	TPA	TPA	TP	TP	TP	TP	TA	TA
	F	F	F	F	LA	LA	LA	LA	F	F
	D	D	D	D	F	F	F	F	D	D
					D	D	D	D		
	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
	EC (E)	FPB	DA	DA	EC (E)	FPB	DA	DA	EC (E)	FPB
	LS	EC (FPB)	FPB	FPB	LS	EC (FPB)	FPB	FPB	LA	EC (FPB)
			EC (FPB)					EC (FPB)		
	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF
	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A

PT	Pretratamiento	TPA	Tratamiento primario avanzado
TP	Tratamiento primario conv.	LA	Lodos activados
TA	Tratamiento anaerobio (agua)	F	Filtros de arena
D	Desinfección	E	Espesamiento de lodos
EC (E)	Estabilización con cal (lodo pesado)	DA	Digestión anaerobia (lodos)
FBP	Filtro prensa de banda	EC (FBP)	Estabilización con cal lodo FBP
LS	Lechos de secado		Clarificación de agua de retrolavado

La fig 5.29 muestra la comparación de la producción de lodos, para las diversas opciones, considerando masa y volumen respecto a la menor producción. En masa, al contrario de lo que comúnmente se afirma, el TPA (alternativas 1 a 4) puede producir desde 30 % menos de lodos hasta tan sólo 52 % más que la alternativa anaerobia para el agua (opción 9). Lo que

de los costos de la disposición final de los diferentes tipos de lodos depende de cual sea el parámetro crítico de transporte, volumen o masa.

Otro aspecto peligroso del manejo y disposición de biosólidos producidos durante el tratamiento de agua, es el contenido de metales y otros compuestos indeseables o tóxicos que pudieran contener (Water Environmental Federation, 1994). Durante el desarrollo de la investigación, estos compuestos tóxicos fueron medidos y comparados con los valores recomendados por la USEPA para poder ser usados en suelos con fines de reúso. Así se determinó que estos compuestos no representan riesgo alguno para su disposición final. La tabla 5.23 presenta los valores encontrados para un lodo de TPA estabilizado con cal.

Tabla 5.23 Concentraciones promedio de compuestos tóxicos en el lodo crudo y biosólidos tipo B

Parámetro	EXPERIMENTALES		LÍMITES USEPA (1995)	
	Promedio lodo crudo	Promedio lodo estabilizado	Máximo	Promedio mensual
Arsénico	39	29	75	41
Cadmio	19	7	85	39
Cobre	362	287	4300	1500
Mercurio	3	8	57	17
Molibdeno	11	14	75	
Níquel	103	102	420	420
Plomo	113	75	840	300
Selenio	34	24	100	100
Zinc	1679	766	7500	2800

5.12 Costos de tratamiento

Para estimar el costo de tratamiento considerando construcción, operación y mantenimiento, se calcularon costos unitarios siguiendo el siguiente esquema:

- Pretratamiento
- TPA
- Sedimentación convencional
- Filtración
- Desinfección con cloro
- Estabilización con cal de lodos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema propuesto consiste en:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario avanzado (TPA)
- Sedimentación (convencional o de alta tasa)
- Filtración (en arena o con medio sintético)
- Desinfección (por cloración, luz ultravioleta o sulfato de cobre)

El sistema logra cumplir con los requerimientos de calidad para reúso agrícola con un costo tres veces inferior al de los lodos activados y empleando 1/10 del área que ocuparía el proceso de lagunas. Además, este proceso tiene la ventaja frente a los otros mencionados de remover en menor cantidad la materia orgánica, nitrógeno y fósforo necesarios para elevar la productividad agrícola. Al mismo tiempo, el sistema TPA disminuye la concentración de huevos de helminto en ordenes de 1 a 5 HH/l, por lo que debe ser complementado con un filtro cuando se desee asegurar menos de 1 HH/l.

Durante la desinfección con cloro o con luz ultravioleta los coliformes fecales son disminuidos por debajo de 1000 CF/100 ml, lo que garantiza que este efluente esté libre de estos microorganismos.

Además, el sistema fomenta el uso de tecnología mexicana al desarrollar criterios propios para el país e incluir procesos de patente nacional (como la de los polímeros zwitteriónicos y la del lavado del filtro).

- Para evitar la formación de organoclorados, en los casos en que el efluente tenga contacto con organismos que vivan en cuerpos receptores, se debe usar luz ultravioleta, en primer lugar, y en segundo el sulfato de cobre.
 - Para no tener problemas por interferencias con agua de carácter reductor (séptica) se debe emplear sulfato de cobre.
 - Si se desea contar con una capacidad desinfectante residual el uso del cloro es aconsejable.
- e) Por último, para los lodos se propone efectuar una prestabilización con cal viva con una dosis mínima de 15 % para producir lodos tipo B de la USEPA; en caso de querer producir biosólidos que no tengan restricción alguna de disposición (lodos tipo A), la dosis deberá incrementarse a más del 40 % y deberán realizarse estudios específicos en cada caso.

Por los resultados anteriores, se considera que en este estudio, además de analizar la factibilidad y viabilidad de aplicar una solución técnica (sistema de tratamiento a base de TPA) a un problema real (reúso del agua residual en riego agrícola), se definieron las condiciones precisas para la implantación de la técnica en México.

7. REFERENCIAS

American Water Works Association (1990), Committee "Coagulation as an integrated water treatment process", *J Amer Water Works Assoc*, **81**(10), 72-78

Ayres, R M, Lee, D L, y Mara, D P (1989), The enumeration of human intestinal nematode eggs in raw and treated wastewater, ODA Research Scheme R 4336, final report, *University of Leeds*, Department of Civil Engineering, Leeds, Reino Unido, 639-646

Biagi, F (1990), *Enfermedades parasitarias*, Ed de la Prensa Mexicana, México, DF

Cáceres, L O (1990), *Desinfección del agua*, Ministerio de Salud (OPS/OMS), 1ª ed, Lima, Perú

Capella, A (1995), Feasibility study for the sanitation of the Valley of Mexico, *Comisión Nacional del Agua*, Reporte final

Cifuentes, E y Siebe, C (1993), Environmental impact of wastewater irrigation in Central Mexico; an overview, *International Journal of Environmental Health Research*, **3**(4), Londres, p 28

Chávez, A y Jiménez, B (1996), Evaluación de las condiciones de mezclado. Punto de adición de coagulante y floculante en la eficiencia de un Tratamiento Primario Avanzado, *XXV Congreso Interamericano, Ingeniería Sanitaria y Ambiental: Consolidación para el desarrollo*, memorias en disco, sesión 01396E14

- Jiménez, B y Chávez, A (1998), Posibilidades de reúso en el Distrito Federal y el Valle del Mezquital, *1er Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reúso del Agua y Residuos Industriales*, memorias, tomo II, México, DF, 58-1-58-13
- Jiménez, B, Chávez, A y Hernández, C (1998), Alternative wastewater treatment intended for agricultural use of Mexico, *2° International Conference, Resources and environmental priorities and challenges*, Milán, 14-16 sep 1998, 691-698
- Jiménez, B, González, A, Ortega, A, Becerril, E y Chávez, A (1997), Efectos secundarios de las plantas de tratamiento del proyecto de saneamiento del valle de México, *Instituto de Ingeniería, UNAM*, proy 7326, México, DF
- Jiménez, B, Maya, C y Pulido, M (1996), Evaluación de las diversas técnicas para la detección de huevos de helminto y selección de una para conformar la MNX correspondiente, *Instituto de Ingeniería, UNAM*, México, DF, 1-25
- Jiménez, B, Muñoz, A y Barrios, J A (1997), Estudios para fundamentar la propuesta de norma oficial mexicana en materia de tratamiento y disposición de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas municipales, *Instituto de Ingeniería, UNAM*, proy 7323, México, DF
- Jiménez, B y Ramos, J (1995), Reúso potencial del agua residual municipal en México, *Revista Federalismo y Desarrollo*, BANOBRAS, México, DF
- Landa, H, Leyva, A y Jiménez, B (1998), Nuevas tecnologías para la filtración del agua residual, *1er Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reúso del Agua y Residuos Industriales*, memorias, tomo II, México, DF, 58-1-58-13
- Lue-Hing, C (1998), *Municipal sewage sludge management: Processing, utilization and disposal*, Technomic Publishing Company, EUA
- Metcalf & Eddy Inc (1989), *Wastewater engineering: Treatment disposal and reuse*, 3 Ed, McGraw-Hill, EUA

Water Environmental Federation (1992), *Design of municipal wastewater treatment plants*, WEF Manual of Practice 4, N° 8, ASCE, Manual of report on engineering practice, N° 76 (I)

Water Environment Research Foundation (1993), *Guidance Manual for Polymer Selection in Wastewater treatment plants*, proj 91-ISP-5, EUA

World Health Organization (1989), *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*, Technical Report Series N° 778, WHO, Ginebra

APÉNDICE 1

1. Principales microorganismos patógenos del agua

El agua para consumo humano que pasa por percolación de aguas negras a fuentes de suministro, así como a cultivos agrícolas, puede estar contaminada (fig A1.1) por diversos microorganismos patógenos de origen fecal, como virus, bacterias, protozoos y helmintos (tabla A1.1). Muchas enfermedades importantes se asocian al agua contaminada por desechos humanos. Las principales son las gastrointestinales, que ocupan lugares preponderantes como causa de mortalidad infantil en regiones donde la pobreza y la desnutrición son comunes. Por otra parte, las enfermedades parasitarias crónicas causan debilidad y proporcionan que los individuos presenten mayor riesgo de sufrir otro tipo de infecciones.

Tabla A1.1 Organismos patógenos comúnmente encontrados en agua residual cruda.
Concentración y dosis infectiva (USEPA, 1992 y Feachem *et al*, 1993)

PATÓGENO	GÉNERO Y ESPECIE	ENFERMEDADES	DOSIS INFECTIVA	CONCENTRACIÓN (número/100 ml)
Protozoarios				
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amibiana)	20	
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	<10	
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis	20	
	<i>Balantidium coli</i>	Balantisiasis (disentería)	<10	
	<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	Gastroenteritis	10^6 - 10^{10}	
	<i>Giardia lamblia</i>		<10	50- 10^4
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Fiebre tifoidea	20	0-10
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis		
	<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis, (diarrea, fiebre)	<10	

PATÓGENO	GÉNERO Y ESPECIE	ENFERMEDADES	DOSIS INFECTIVA	CONCENTRACIÓN (número/100 ml)
	<i>Parvovirus</i> (3 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Poliovirus</i>	Poliomielitis		
	<i>Echovirus</i>	Meningitis, neumonía, hepatitis, fiebre		
	<i>Agentes Norwalk</i>	Gastroenteritis con severa diarrea		
	<i>Norwalk agente</i>	Diarrea, vómito y fiebre		
	<i>Reovirus</i> (3 tipos)	Estabilidad no clara		
	<i>Astrovirus</i> (5 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Calicivirus</i> (2 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Coronavirus</i>	Gastroenteritis		

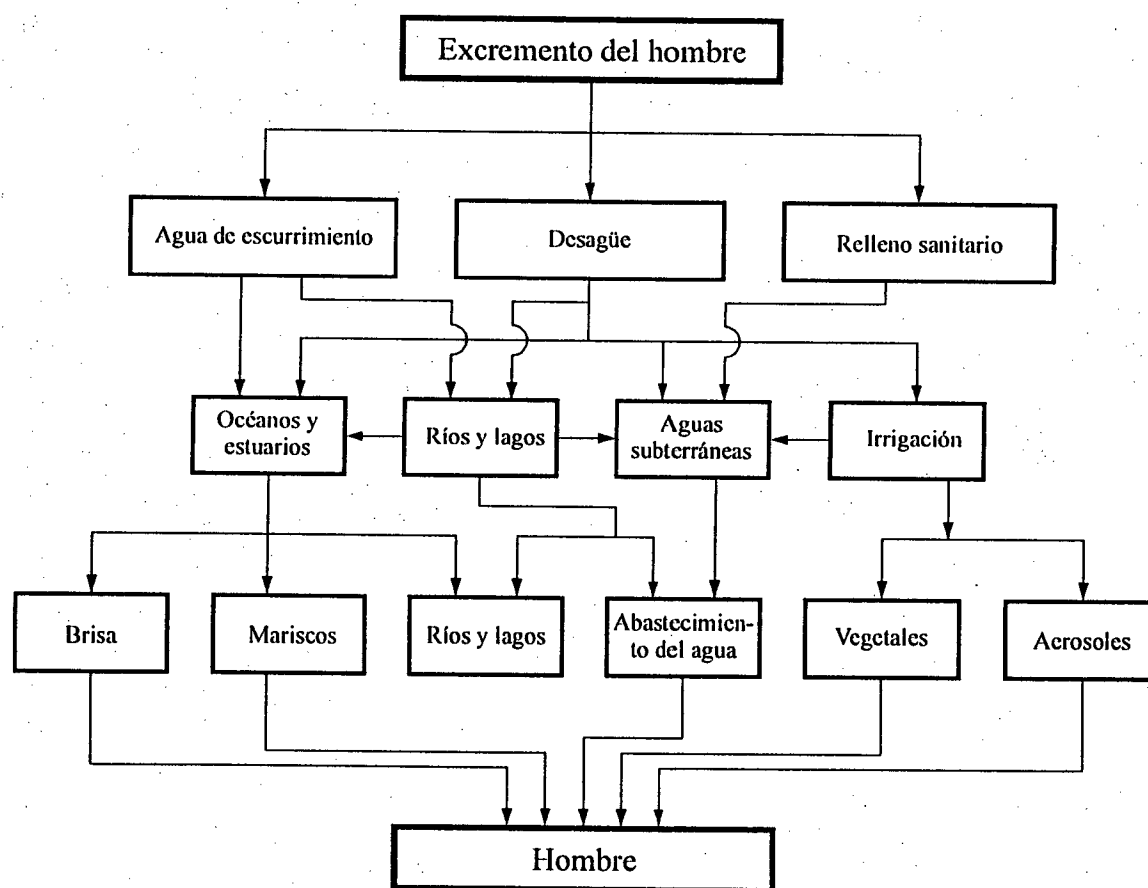


Fig A1.1 Transmisión potencial de microorganismos patógenos (Cáceres, 1990)

Tabla A1.2 Virus entéricos humanos que pueden estar presentes en el agua
(Cáceres, 1990)

GRUPO DE VIRUS	TIPOS	ENFERMEDADES Y SÍNTOMAS
Enterovirus Polio		Poliomielitis, meningitis, fiebre
Poliovirus	3	
Cocksackievirus A	24	Herpangina, meningitis, fiebre
Cocksackievirus B	6	Miocarditis, enfermedades respiratorias, pleurodinia, fiebre
Echovirus	34	Meningitis, diarrea, fiebre
Nuevos enterovirus	4	Meningitis, encefalitis, conjuntivitis, fiebre
Virus de la hepatitis A	1	Hepatitis infecciosa
Adenovirus	30	Enfermedades respiratorias, infecciones a los ojos
Reovirus	3	No establecido claramente
Rotavirus	?	Vómitos y diarreas
Calicivirus	?	Vómitos y diarreas

Protozoos. Existen tres tipos de protozoos intestinales patógenos para el hombre, que pueden ser transmitidos por el agua: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* y *Balantidium coli*. Estos organismos son los agentes etiológicos de la amebiasis (disentería amibiana), giardiasis y balantidiasis, respectivamente. Todos han sido asociados con brotes epidémicos causados por el agua potable.

La *E histolytica* está distribuida por todo el mundo, tanto en el hombre como en otros mamíferos. Esta especie está integrada por organismos flagelados que existen en las etapas de trofozoos y quistes. La infección se produce por la ingestión de quistes y, puesto que es fundamentalmente un parásito de los primates, el hombre es reservorio de la infección. Las personas disentéricas excretan solo trofozoos, que afortunadamente son susceptibles a la deshidratación, a los cambios de temperatura y a la concentración de sales. Casi todos los parásitos en esta etapa son destruidos por el jugo gástrico. En consecuencia, son los casos crónicos y los portadores, que excretan quistes, las fuentes de infección más importantes.

Las giardias, al igual que *E histolytica*, están distribuidas en todo el mundo y son flagelados que existen en las formas de trofozoos y quistes que pueden sobrevivir por varios meses en el agua a 0 °C, 30 minutos a 45 °C y 5 minutos a 50 °C. Constituyen los gérmenes patógenos más resistentes al cloro que se conocen. El organismo que infecta al hombre es *Giardia lamblia*, *Lamblia intestinalis* o *Giardia intestinalis*. Se calcula que la producción media diaria de quistes por un adulto infectado es del orden de 10^8 . La cantidad de quistes en aguas negras domésticas es de 10^3 quistes por litro para un índice de infectados en la población humana de 10 a 25 %. La mayoría de los brotes han sido asociados con el agua potable no tratada o agua que tuvo tratamiento deficiente de desinfección. Se ha demostrado que la dosis infecciosa es pequeña y que diez quistes, administrados en cápsulas de gelatina, causan la infección en el hombre. Hay indicadores

organismos patógenos. Debido a que este es el caso de prácticamente todos los laboratorios, la detección de estos parásitos se hace de hecho en investigaciones de situaciones específicas y, por tanto, poco se conoce sobre su comportamiento.

Los coliformes fecales constituyen el indicador tradicional, debido a que:

- El 95 % de los coliformes resultan positivos a la prueba de temperatura.
- Pueden estar ausentes si la contaminación no es de origen fecal.
- Sobreviven menos tiempo que los coliformes totales, por lo que permiten suponer contaminación reciente, si se encuentran en concentraciones altas.
- Son más exigentes que los coliformes totales para reproducirse fuera del intestino.
- Los procedimientos de laboratorio para su cuantificación son relativamente sencillos.

4. Desinfección

Es el proceso más importante de destrucción de microorganismos patógenos y se refiere a la inactivación selectiva o destrucción de microorganismos que causan enfermedades. En contraste, la esterilización es la destrucción de todos los microorganismos. La desinfección del agua no es un proceso instantáneo, ya que se realiza a una cierta velocidad, determinada por los siguientes factores:

- Naturaleza y concentración de los microorganismos que van a ser destruidos, y su distribución y condición en el agua
- Naturaleza y concentración del desinfectante y su distribución en el agua
- Temperatura del agua
- Naturaleza y condición del agua
- Tiempo de contacto.

La desinfección puede llevarse a cabo sea física o químicamente (tabla A1.4). La selección de método depende del desinfectante, su accesibilidad, el costo de inversión y operación, las condiciones de manejo (por ejemplo transportación, almacenamiento, generación, flexibilidad y seguridad) y los efectos adversos potenciales, tales como toxicidad para la vida acuática o la formación de subproductos tóxicos. En esta tabla, se muestran técnicas alternas de desinfección y su aplicabilidad para cada caso. El cloro es, por mucho, el desinfectante de mayor uso.

Tabla A1.4 continuación

CARACTERÍSTICAS	PROPIEDAD/RESPUESTA	OZONO	RADIACIÓN UV
Tamaño de planta	Todos los tamaños	Medio a grande	Pequeño a mediana
Niveles de aplicabilidad de tratamiento previo a la desinfección	Todos los niveles	Secundario	Secundario
Seguridad del equipo	Bueno	Adecuado a bueno	Adecuado a bueno
Control del proceso	Bien desarrollado	Desarrollado	Desarrollado
Complejidad de tecnología	Simple a moderada	Compleja	Simple a compleja
Seguridad (referente a la transportación)	Sí	No	No
Seguridad (fuera del sitio)	Sustancial	Moderada	Mínima
Bactericida	Buena	Buena	Buena
Virucida	Pobre	Buena	Buena
Tóxica al medio acuático	Tóxico	No esperada	No. Tóxico
Subproductos peligrosos	Sí	No esperada	No
Residual persistente	Largo	No	No
Tiempo de contacto	Largo	Moderado	Corto
Contribuye al oxígeno disuelto	No	Sí	No
Reacciones con el amonio	Sí	Sí (pH alto)	No
Remoción de color	Moderado	Sí	No
Incremento en los sólidos disueltos	Sí	No	No
Dependencia del pH	Sí	Ligero (pH alto)	No
Sensibles a la operación y mantenimiento	Mínima	Alta	Moderada
Corrosivo	Sí	Sí	No

Na: no aplica

APÉNDICE 2

Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto

Introducción

Ante la escasez de recursos hídricos, la explosión demográfica y el desarrollo industrial, la utilización de aguas residuales es una importante alternativa como fuente adicional de suministro, particularmente para riego agrícola. Sin embargo, dicha actividad tiene implicaciones negativas desde el punto de vista sanitario, ya que representa un riesgo para la salud de los trabajadores agrícolas, y la de los consumidores de los productos, en especial si se consumen crudos como las hortalizas.

El agua contaminada es el vehículo directo o indirecto de diseminación de helmintos entéricos en su etapa infecciosa (huevos embrionados o larvas). La NOM-001-ECOL-1996 para riego agrícola, en proceso de aprobación, establece el límite máximo de un huevo de helminto por litro, para riego no restringido, y de cinco por litro, para el restringido.

Los helmintos patógenos son de alto riesgo pues presentan alta persistencia en sus diversos estadios en el ambiente, tienen una dosis infectiva mínima (1HH/l), no existe inmunidad en los humanos contra ellos y presentan un periodo de latencia largo. Sin embargo, su vigilancia permite obtener mayor información sobre la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Finalmente, se requiere disponer de un método oficial para determinar y cuantificar los huevos de helminto.

El método se basa en la diferencia de densidades entre los huevos de helminto, las demás sustancias sólidas y líquidas presentes en las aguas residuales y las que se agregan para permitir la separación. Para eliminar los huevos de helminto, se utilizan la coagulación-sedimentación-flotación, la decantación y el método bifásico.

Se podrá utilizar cualquier otro método que acredite su validez ante las autoridades correspondientes.

Definiciones

- Helmintos:** 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.
- Platelmintos:** Gusanos dorsoventralmente aplanados, algunos de interés médico: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *Hymenolepis diminuta*, entre otros.
- Nematelmintos:** Gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*.
- Agua residual:** Líquido de composición variable, resultante de cualquier uso primario del agua por el que esta haya sufrido alteraciones de sus características originales.
- Afluente:** Aguas residuales domésticas que entran a una planta de tratamiento.
- Efluente:** Descarga de aguas residuales procedentes de algún tipo de tratamiento.
- Método bifásico:** 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.
- 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 y 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 y 1.4.
- Coagulación:** Adición de compuestos químicos para alterar el estado físico de los sólidos coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por sedimentación o filtración.
- Decantación:** Eliminación del líquido sobrenadante mediante vaciado.
- Filtración:** Remoción de las partículas suspendidas en un líquido, haciéndolas fluir a través de un medio de porosidad adecuada.

Reactivos

Sulfato de zinc heptahidratado

Ácido sulfúrico

Éter etílico

Etanol

Agua destilada

Formaldehído

Solución de sulfato de zinc, con gravedad específica de 1.3

Fórmula

Sulfato de zinc..... 800 g

Agua destilada..... 1000 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 densímetro o hidrómetro. Para lograr la densidad deseada, agregar reactivo o agua, según sea el caso.

Solución de sulfato de zinc, con gravedad específica de 1.2 (para viabilidad)

Fórmula

Sulfato de zinc.....740 g

Agua destilada.....1000 ml

Preparación

Disolver 740 g de sulfato de zinc en 1 000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar; medir la densidad con densímetro o hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua según sea el caso.

Solución alcohol- ácido

Fórmula

Ácido sulfúrico 0.1 N650 ml

Etanol.....350 ml

Recibir el filtrado y enjuagues en el garrafón donde originalmente se encontraba la muestra.

Dejar sedimentar durante 3 h o toda la noche.

Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en recipientes de centrífuga, así como los enjuagues del garrafón.

Centrifugar a 400 g de 3 a 5 minutos (1 400 a 2 000 rpm de 3 a 5 min, según la centrífuga).

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 (en caso de determinar la viabilidad, utilizar una solución con densidad de 1.2).

Homogeneizar la pastilla con el agitador automático o aplicador de madera.

Centrifugar a 400 g de 3 a 5 min (1 400 a 2 000 rpm de 3 a 5 minutos).

Recuperar el sobrenadante virtiéndolo en un recipiente de plástico de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.

Dejar sedimentar 3 h o toda la noche.

Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, vertir el líquido resultante en dos tubos de centrífuga de 50 ml, así como el enjuague del recipiente con agua destilada.

Centrifugar a 480 g por 3 min (2,000 a 2,500 rpm por 3 min, según la centrífuga).

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

Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H_2SO_4 0.1 N) + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.

Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas.

Seguridad

Para evitar riesgo de infección, hay que utilizar guantes de látex, durante el procesado de la muestra.

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

Las operaciones de agitación con éter se harán en sitios ventilados considerando su inflamabilidad.

Manejo de residuos

Los residuos serán tratados con cloro u otro método para su total desinfección.

Bibliografía

APHA, AWWA, WPCF (1992), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19^a Ed, Washington, DC (Métodos normalizados para el análisis del agua y agua residual, EUA).

CETESB, São Paulo (1989), Helmintos e protozoários patogénicos contagem de ovos e cistos en Amostras Ambientais.

Schwartzbrod, J (1995) Helminth eggs in wastewater: quantification technique, *Water Science and Technology* 5-6, 2443-446.

Tabla A3.1 Alternativas de tratamiento de lodos

PLANTA ALTERNATIVA Nº	UNIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tren de tratamiento de agua		Pretratamiento, primario avanzado, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario avanzado, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario avanzado, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario avanzado, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario convencional, tratamiento biológico, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario convencional, tratamiento biológico, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario convencional, tratamiento biológico, filtración, desinfección	Pretratamiento, primario convencional, tratamiento biológico, filtración, desinfección	Pretratamiento, anaerobio, filtración, desinfección	Pretratamiento, anaerobio, filtración, desinfección
Tren de tratamiento de lodos		Espesamiento por gravedad, deshidratación con cal (lodo espesado), deshidratación en lechos de secado	Espesamiento por gravedad, deshidratación con filtros prensa de banda, estabilización con cal	Esasamiento por gravedad, digestión anaerobia, deshidratación con filtros prensa de banda	Espesamiento por gravedad, digestión anaerobia, deshidratación con filtros prensa de banda, estabilización con cal al lodo, deshidratado	Espesamiento por gravedad, digestión anaerobia, deshidratación con filtros prensa de banda, estabilización con cal	Espesamiento por gravedad, digestión anaerobia, deshidratación con filtros prensa de banda	Espesamiento por gravedad, digestión anaerobia, deshidratación con filtros prensa de banda	Espesamiento por gravedad, digestión anaerobia, deshidratación con filtros prensa de banda, estabilización con cal al lodo deshidratado	Espesamiento por gravedad, estabilización con cal (lodo espesado), deshidratación en lechos de secado	Espesamiento por gravedad, deshidratación con filtros prensa de banda, estabilización con cal
Tren de tratamiento auxiliar		Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros	Clarifloculación para recuperación del agua de retrolavado de filtros
Gasto de diseño	m ³ /s	77.55	77.55	77.55	77.55	77.55	77.55	77.55	77.55	77.55	77.55
Sólidos retenidos en rejillas	m ³ /s	82.72	82.72	82.72	82.72	82.72	82.72	82.72	82.72	82.72	82.72
Arenas renovadas	l/d	689.84	689.84	689.84	33 487.47	435.46	435.46	435.46	435.46		
Lodos primarios (químicos o convencional)	l/d										
Concentración de lodos primarios	%	2.00 %	2.00 %	2.00 %	2.00 %	4.00 %	4.00 %	4.00 %	4.00 %		
Lodos tratamiento anaerobio	l/d									522.55	522.55
Concentración de lodos de tratamiento anaerobio	%									4.00 %	4.00 %
Lodos tratamiento aerobio	l/d					290.30	290.30	290.30	290.30		
Concentración de lodos de tratamiento aerobio	%					1.00 %	1.00 %	1.00 %	1.00 %		
Lodos producidos en sist. recirculación retrolavado	l/d	84.36	84.36	84.36	84.36	42.89	42.89	42.89	42.89	112.01	112.01
Concentración de lodos del sistema de recuperación	%	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %	1.20 %