

SECCION TECNICA

TECNOLOGIA INNOVATIVA PARA REDUCCION DE CONTAMINANTES BIOLÓGICOS Y PRECURSORES DE TRIHALOMETANOS

Por: Gerardo Galvis
 Profesor titular Universidad del Valle
 Director CINARA, Centro Inter-Regional
 de Abastecimiento y Remoción de Agua

RESUMEN

Diferentes tipos de filtros gruesos están siendo investigados como alternativas de pretratamiento para mejorar el potencial de los procesos de tratamiento de agua en la reducción de riesgos asociados con enfermedades de origen hídrico. Para esta investigación se emplean tanto sistemas experimentales de tratamiento a escala piloto, como sistemas de tratamiento de agua a escala real. Los sistemas comprenden diferentes alternativas de tratamiento, cada una de las cuales incorpora dos etapas de filtración gruesa, seguida por filtración lenta en arena y desinfección terminal como barrera de seguridad. El estudio ha establecido claramente que es posible producir agua de bajo riesgo sanitario, aún con fuentes superficiales altamente poluidas. Esta tecnología de filtración en múltiples etapas también reduce significativamente la concentración de precursores de Trihalometanos (THMs). Las alternativas de pretratamiento que se están estudiando abren además la posibilidad de evitar la desinfección preliminar y reducir la dosificación de coagulantes en sistemas de tratamiento de agua con niveles de contaminación mediano o alto que usan filtración rápida.

INTRODUCCION

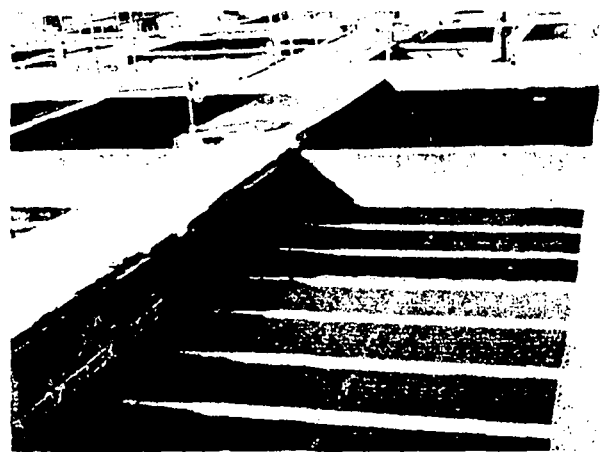
El suministro de agua potable y la adecuada disposición de excretas son importantes para mejorar las condiciones de vida en países en los que una parte significativa de la población es afectada por enfermedades de origen hídrico. Esto implica particularmente a los grupos de población que viven en áreas con limitaciones o carencias de infraestructura sanitaria. Los programas de desarrollo en general y especialmente para estas áreas deben seleccionar y transferir tecnologías acordes con las condiciones locales. Donde sea posible se deben escoger fuentes de agua bien protegidas ya que es mucho más económico y efectivo preservar sus cuencas que tener que depender de complejos y costosos procesos de tratamiento para producir agua segura para el consumo humano (Okun, 1991).

Siempre que se requiera tratamiento del agua, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos en el proceso de selección de la tecnología correspondiente:

- Los riesgos sanitarios asociados con la calidad del agua en la fuente.
- El tratamiento requerido para cumplir con criterios de calidad de agua establecidos.
- La aceptación cultural y socio-económica y la permanencia de las soluciones propuestas.

La calidad del agua de las fuentes superficiales normalmente presenta limitaciones para alcanzar los criterios de potabilidad y puede además cambiar entre periodos secos y lluviosos. Estos cambios y el hecho de que las alternativas de tratamiento de una sola etapa envuelven un alto riesgo de fracaso, hacen necesario adoptar el concepto de multi-barrera, según el cual se debe contar con más de una etapa de tratamiento para mejorar la calidad del agua cruda. Estas etapas remueven progresivamente los contaminantes y producen consecuentemente agua de bajo riesgo sanitario. Donde sea posible, el agua así producida deberá estar seguida de la desinfección como una línea final de defensa o una barrera de seguridad (Lloyd, 1974; Galvis et al, 1991). Para que la desinfección sea una barrera de seguridad efectiva, las barreras precedentes deberán remover virtualmente todos los microorganismos patógenos, reducir las sustancias que causen interferencia con la desinfección y las que sean precursoras de Trihalometanos (THM).

Muchos procesos de tratamiento, como la coagulación química y la filtración rápida, bien sea proyectados específicamente o adquiridos bajo la modalidad de plantas compactas, resultan normalmente inapropiados para áreas rurales y para municipalidades de tamaño pequeño y mediano. Ellos implican altos costos de operación y requerimientos técnicos que usualmente están por fuera de las capacidades locales. En contraste con este tipo de procesos, la filtración lenta en arena (FLA) es una tecnología de bajo costo, segura y eficiente con bajas demandas técnicas para la operación y el mantenimiento (WHO, 1987). Además, aún en un contexto urbano con buena infraestructura, la tecnología de Pretratamientos en consideración puede ser una buena alternativa, especialmente con fuentes de



agua superficiales con niveles de contaminación mediana o alta o con cambios bruscos de calidad, pues en estas circunstancias una o dos etapas de pretratamiento pueden contribuir a hacer más económica y menos riesgosa la operación de los sistemas de tratamiento con filtración rápida de agua químicamente coagulada.

La tecnología de FLA como única etapa de tratamiento, no necesariamente produce agua de buena calidad, bien sea porque el nivel de la contaminación de la fuente es demasiado alto o porque existen sustancias que reducen o inhiben sus mecanismos de purificación (Spencer et al, 1991; Galvis et al, 1991). En estas circunstancias es indispensable aplicar el concepto de multibarrera y colocar otras etapas de tratamiento que deben preceder a la Filtración Lenta, para posibilitar el aprovechamiento de sus bondades, sin comprometer su simplicidad operacional. Esta combinación de barreras deberá ser capaz de producir agua de bajo riesgo sanitario, virtualmente libre de organismos causantes de enfermedad, condición importante en países donde el proceso de desinfección ha demostrado ser poco confiable. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS), más del 75% de las unidades de desinfección en América Latina y el Caribe no funcionan correctamente (Reiff, 1988).

FILTRACION GRUESA

La filtración en grava y arena son etapas de tratamiento efectivas debido principalmente a la gran área superficial disponible en los lechos filtrantes que facilita mecanismos de remoción de naturaleza física, química o biológica. Un proceso de filtración por múltiples etapas es muy adecuado para tratar aguas que contienen partículas de varios tamaños y características y con cambios en sus niveles de concentración. En Colombia, CINARA ha introducido una nueva variante en la tecnología de filtración en múltiples etapas al combinar la filtración gruesa dinámica, como una primera barrera de tratamiento para remover el material más grueso, con las siguientes etapas orientadas principalmente hacia la remoción de partículas finas y microorganismos (Figura 1). Estas etapas han sido clasificadas de acuerdo con la dirección del flujo como filtros gruesos ascendentes, filtros gruesos descendentes y filtros gruesos horizontales (Smet et al, 1989).

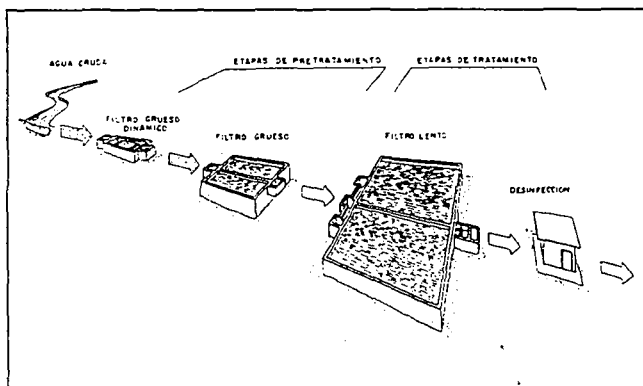


Figura 1. Sistema de tratamiento por filtración en múltiples etapas.

Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Esta etapa incluye una capa delgada de grava fina en la parte superior y otra de grava gruesa en contacto con un sistema de drenaje (Figura 2). El agua recorre la estructura por encima y parte de ella percola a través del lecho hacia la próxima unidad de

tratamiento, mientras que la otra parte retorna a la fuente. Bajo condiciones normales la unidad se obstruirá gradualmente. Cuando recibe un pico de concentración de sólidos suspendidos, la colmatación será más rápida y el volumen de agua que va hacia las subsecuentes unidades de tratamiento se reducirá e incluso puede llegar a interrumpirse. Esto es importante en la mayoría de fuentes superficiales de la región andina que presentan picos de turbiedad considerables pero usualmente de corta duración. La limpieza de un FGDi se realiza normalmente una o dos veces por semana rastrillando la capa de grava fina. Cada 6-12 meses el lecho de grava debe ser removido, lavado y reinstalado para recuperar la capacidad total de filtración (Galvis et al, 1991).

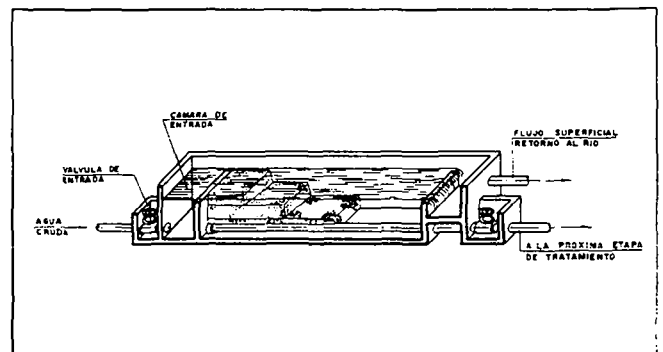


Figura 2. Diagrama esquemático de un filtro grueso dinámico.

Filtración Gruesa Ascendente (FGA)

Pueden distinguirse dos tipos de filtración gruesa ascendente:

- En Serie (FGAS), es donde un sistema de 3 unidades que opera en serie contiene predominantemente grava gruesa la primera, grava de tamaño medio la segunda y grava fina la tercera.
- En Capas (FGAC), sistema que solamente comprende una unidad con capas de diferentes tamaños desde gruesa en el fondo hasta fina en la superficie.

La filtración gruesa ascendente, la cual ha tenido una aplicación limitada hasta ahora, tiene la ventaja de que la primera filtración ocurre en el fondo del filtro. Esto facilita la remoción de sedimentos de la grava por drenaje de la unidad.

Filtración Gruesa Descendente (FGD)

Normalmente consta de tres unidades que operan en serie, cada una de ellas con grava de diferentes tamaños, similar a los filtros ascendentes pero con flujo vertical de arriba hacia abajo. Este tipo de sistema ha sido objeto de alguna investigación en diferentes países, particularmente en Perú (Pardon, 1989).

Filtración Gruesa Horizontal (FGH)

En el estudio se utilizan dos unidades de este tipo: un filtro grueso horizontal convencional (FGH) que comprende tres compartimientos con grava de los mismos tamaños que las unidades en serie de flujo vertical. Esta unidad se proyectó siguiendo los criterios de diseño propuestos por Wegelin (1986); y un filtro grueso horizontal modificado (FGHM) que incluye un sistema de drenaje para facilitar la limpieza y con compartimientos más cortos para brindar igual tiempo teórico de retención que los sistemas ascendentes y descendentes en serie, haciéndolo más competitivo desde el punto de vista económico.

Para estudiar y comparar el comportamiento de diferentes alternativas de filtración en múltiples etapas con respecto a su capacidad de producir agua de bajo riesgo sanitario, antes de la desinfección como barrera de seguridad, se está realizando un proyecto integrado de investigación y demostración entre CINARA e IRC, Internacional Water Supply and Sanitation Centre, en colaboración con otras agencias nacionales e internacionales. Los antecedentes de este proyecto incluyen los resultados obtenidos con pequeñas unidades piloto (Galvis et al, 1989) con base en los cuales se estableció como hipótesis que los sistemas de filtración en múltiples etapas podrían conseguir remociones de turbiedad de manera eficiente y económica, reducir el riesgo microbiológico y al mismo tiempo contribuir a la reducción de precursores de THM y a la disminución de su potencial de formación. El proyecto incluyó mediciones tanto en unidades a escala piloto procesando agua cruda de un río de valle (Río Cauca), como también sistemas a escala real que tratan agua de ríos de montaña, todos situados en el Departamento del Valle del Cauca. Los ríos de montaña tienen áreas de drenaje relativamente pequeñas, diferentes niveles de contaminación y cambios rápidos ocasionales en la calidad del agua. El río de valle con un caudal mínimo del orden de 130 m³/s a la altura del sitio del estudio, recibe tanto agua de ríos de montaña como desechos no tratados de pequeños y grandes asentamientos, y de desarrollos agroindustriales parcialmente tratados.

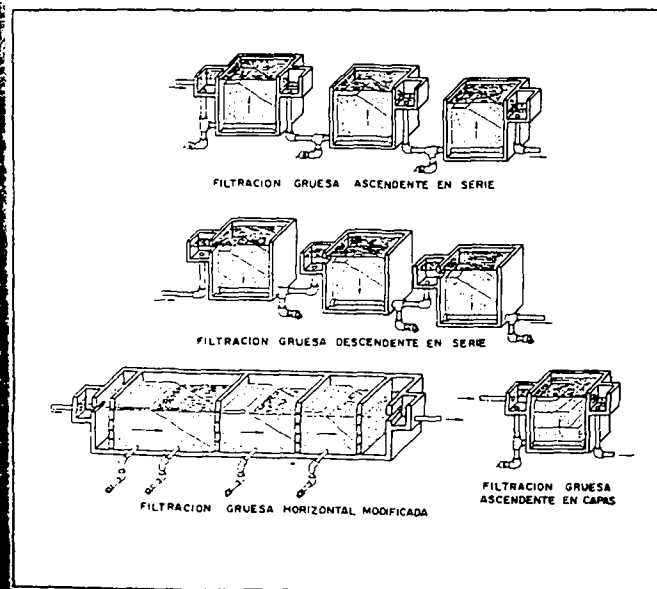


Figura 3. Ilustración de diferentes tipos de filtros gruesos.

MATERIALES Y METODOS

La calidad del agua cruda de los diferentes ríos incluidos en la investigación cubre un rango amplio (Figura 4). La Estación de Investigación en la cual están situados los sistemas experimentales a escala piloto (Figura 5) toma agua de un río altamente poluido. Cada uno de estos sistemas consta de una etapa de filtración gruesa dinámica seguida por una segunda etapa de filtración gruesa e incluye una etapa final de filtración lenta en arena (FLA) empacada con una capa de arena de 1.0 m de altura. La arena tiene un diámetro efectivo de 0.2 mm y un coeficiente de desuniformidad de 1.57. Durante los periodos de investigación aquí informados, esta capa disminuyó gradualmente, pero nunca fue menor que 0.6 m aún en el filtro que necesitó más raspados.

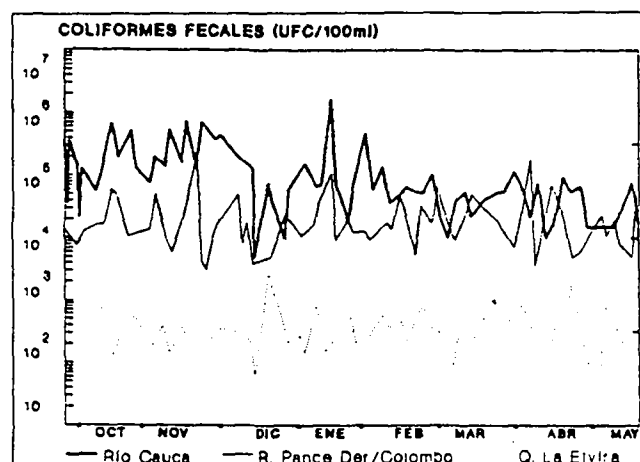
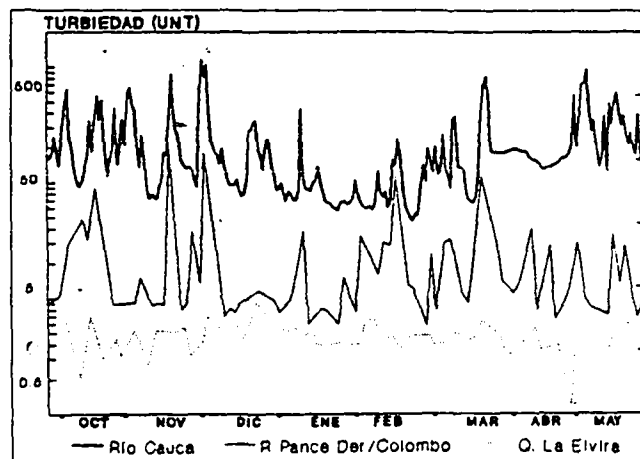


Figura 4. Visión global de la calidad del agua cruda de las diferentes fuentes utilizadas en la investigación.

Todas las unidades, excepto los FGH, están construidas en ferrocemento y son circulares con un diámetro de 2.0 m y una altura de 2.0 m. El filtro grueso horizontal tiene paredes en mampostería con 1.2 m de alto, 1.2 m de ancho y 8.1 m de longitud, incluyendo las estructuras de entrada y salida. El filtro grueso horizontal modificado tiene las mismas dimensiones pero una longitud de 5.3 m, lo que comprende también las estructuras de entrada y salida.

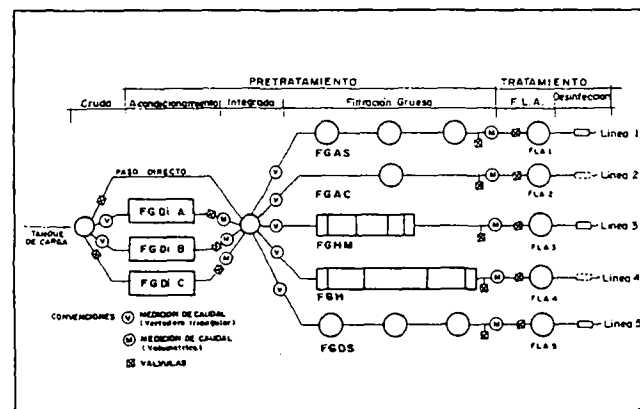


Figura 5. Diagrama esquemático de flujo de las unidades experimentales.

Las características principales de los filtros gruesos están consignadas en la **Tabla 1**. Los tres filtros gruesos dinámicos operan en paralelo pero con diferentes velocidades: A: 1.0 m/h; B: 1.5 m/h; C: 2.0 m/h. El agua que sale de estas unidades se integra en un tanque de carga de donde pasa a las diferentes alternativas de filtración gruesa y subsecuentemente a las unidades de FLA.

Tabla 1. Algunas características de las unidades experimentales.

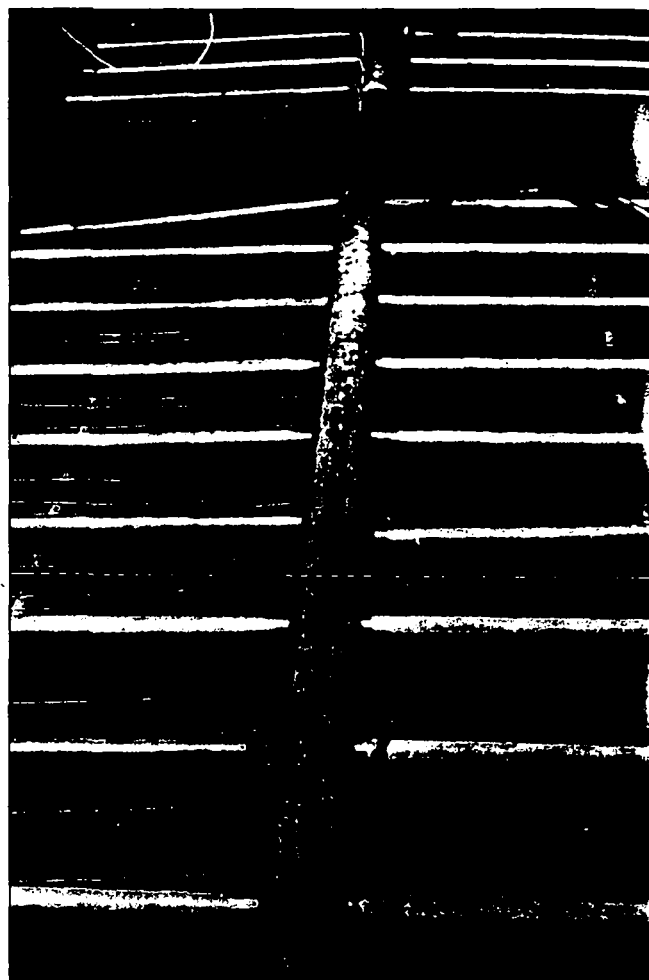
UNIDAD DE TRATAMIENTO	NUMERO DE UNIDADES O COMPARTIM.	LECHO FILTRANTE	
		LONG. TOTAL DE GRAVA (m)	RANGO DE TAMAÑO (mm)
FGDi-A,B,C	1	0.6	3 - 25
FGAS	3	4.3	25 - 1.6
FGAC	1	1.5	25 - 1.6
FGH	3	7.1	25 - 1.6
FGHM	3	4.3	25 - 1.6
FGDS	3	4.3	25 - 1.6

Se evaluaron tres velocidades de flujo en la segunda etapa de pretratamiento en tres periodos diferentes: 0.3 m/h (Enero-Julio 1991); 0.45 m/h (Julio 1991-Enero 1992) y 0.6 m/h (Enero-Junio 1992). En los primeros dos periodos las unidades FLA fueron operadas a 0.10 m/h y en el tercer periodo a 0.15 m/h. En futuros periodos de estudio se tienen previstas velocidades mayores de operación en las diferentes etapas.

En paralelo con la Estación de Investigación, se trabajó en cinco plantas a escala real que comprenden diferentes alternativas de filtración gruesa en combinación con FLA (**Tabla 2**). Estas plantas fueron construidas después de obtener resultados positivos en ensayos de tratabilidad en unidades piloto (Galvis et al, 1989). Todas las plantas son operadas por personal con poca educación formal, capacitados por el equipo de trabajo de CINARA en colaboración con autoridades regionales del sector de abastecimiento de agua y saneamiento.

Tabla 2. Algunos parámetros básicos de plantas a escala real con filtración en múltiples etapas.

LOCALIDAD	CAUDAL (l/s)	TIPO	FILTROS GRUESOS		VELOCIDAD DE FILTRACION (m/h)	FILTRACION LENTA
			LECHO DE GRAVA			VELOCIDAD DE FILTRACION
			LONGITUD (m)	RANGO DE TAMAÑO (mm)		(m/h)
CEYLAN	9.4	FGAS	2.0	25 - 3	0.70	0.14
EL RETIRO	8.8	FGDi	0.3	4 - 25	1.50	0.15
		FGAC	0.7	25 - 3	0.70	
COLOMBO	0.7	FGDi	0.6	6 - 25	1.50	0.11
		FGAC	1.2	25 - 4	0.60	
RESTREPO	0.7	FGH	7.0	16 - 5	0.80	0.15
JAVERIANA	1.5	FGDi	0.6	4 - 25	0.75	0.08
		FGH	4.0	16 - 3	1.00	



Los datos presentados en este documento se concentran principalmente en sólidos suspendidos, turbiedad, coliformes fecales, color real y demanda química de oxígeno (DQO). Todos los datos fueron obtenidos siguiendo procedimientos analíticos establecidos (APHA, 1981, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados en las Unidades Experimentales

• **Remoción de Sólidos, Turbiedad y Coliformes Fecales.** La necesidad de reducir los niveles de sólidos suspendidos para posibilitar una aplicación más amplia de la tecnología de FLA ha sido la razón principal para el desarrollo de algunas alternativas de filtración gruesa, tal como la FGH (Wegelin, 1986; Wegelin et al, 1991). Los resultados resumidos en la **Tabla 3** confirman el potencial de la filtración gruesa para retener material sólido y proteger las unidades de FLA ampliando su aplicación.

Tabla 3. Concentración de sólidos suspendidos en el afluente y efluente de las etapas de filtración gruesa (Enero-Julio 1991)

ETAPAS DE TRATAMIENTO	CONCENTR. DE SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)			
	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO
AGUA CRUDA	187.0	185.0	28.0	978.0
FGDi	74.0	97.0	9.0	545.0
FGAS	2.2	2.1	0.3	10.0
FGAC	4.3	3.7	0.4	13.0
FGHM	4.1	3.5	0.5	14.0
FGH	1.7	1.6	0.1	6.0
FGDS	2.0	1.6	0.3	6.0

El promedio de la turbiedad del agua cruda durante el tercer período de evaluación (**Figura 6, arriba**) fue 61.5 UNT, con una desviación estándar (DS) de 64.3. Las dos etapas de filtración gruesa removieron entre 74 y 88% de la turbiedad de entrada, con la eficiencia más baja en el FGAC y en el FGHM. Los FLA presentaron turbiedades efluentes promedio en el rango de 1.4 a 1.7 UNT con DS en el rango de 1.4 a 2.2. La eficiencia acumulada de remoción de turbiedad fue superior al 97% lo cual es un valor relativamente alto si se tiene en cuenta que el río Cauca es una fuente que contiene material arcilloso con una alta estabilidad de suspensión.

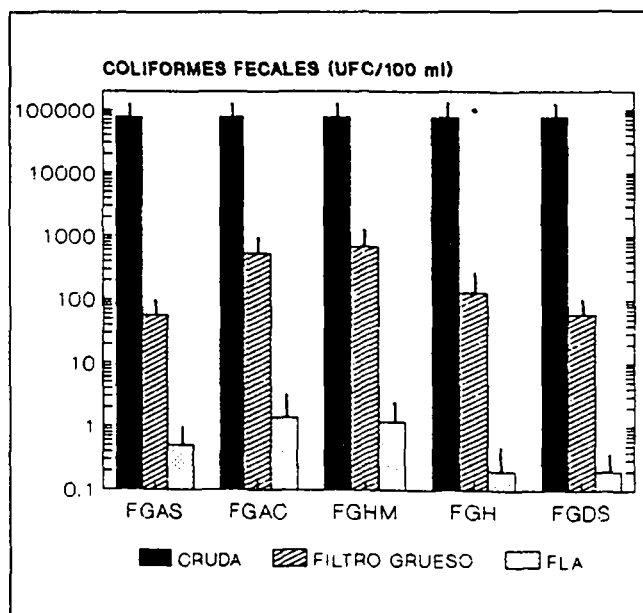
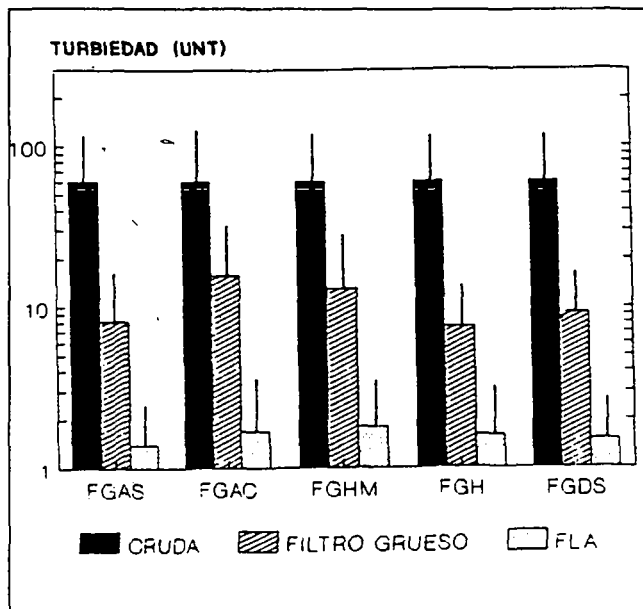


Figura 6. Niveles promedio de turbiedad y recuento de coliformes fecales en las unidades experimentales. Las líneas verticales indican desviación estándar.

Además de estos resultados, es de destacar que hay otros aún más relevantes por su relación directa con la salud, como aquellos que hacen referencia a la remoción de indicadores de contaminación microbiológica. En efecto, las dos etapas de filtración gruesa tienen un gran potencial para mejorar la calidad microbiológica del agua (**Figuras 6, abajo, y 7**). Durante el tercer período, produjeron una reducción en las cantidades de coliformes fecales de 2 a 3 órdenes de magnitud (2-3 log) la cual es una parte considerable del total de la reducción (4.8 a 5.5) alcanzada consistentemente por la combinación de estas etapas de filtración gruesa operando en serie con la tecnología de FLA.

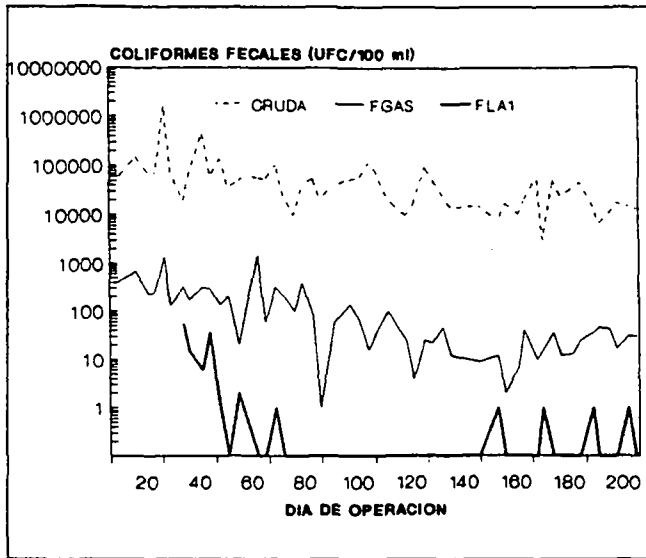


Figura 7. Recuento de coliformes fecales en la línea 1: CRUDA; FGDi+FGAC; FLA.

En el primer período de evaluación el agua cruda fue alimentada a los filtros gruesos el 1 de enero de 1991. Después de 23 días, entraron en operación las unidades de FLA. Como puede verse en la **Figura 7**, se necesitaron 20 días (del 23 al 42) antes de que el FLA 1 pudiera producir agua de bajo riesgo sanitario microbiológico, con un recuento de coliformes fecales de 0 o 1 UFC por 100 ml. Después de estos 20 días de "maduración" el efluente siempre presentó un bajo recuento en coliformes fecales. Un comportamiento similar fue observado en los efluentes de las demás unidades experimentadas.

• **Remoción de Precursores de Trihalometanos.** Habiendo superado la combinación de niveles altos y fluctuantes de sólidos suspendidos, de indicadores de contaminación fecal y de sustancias que interfieren en el proceso de desinfección, se puede introducir esta última etapa de tratamiento, siempre y cuando la cultura y la infraestructura local posibiliten su aceptación y permanencia.

El cloro es aún considerado el desinfectante terminal más efectivo (Singley, 1988). Sin embargo, puesto que reacciona con material orgánico para formar sub-productos potencialmente dañinos (Rook, 1974) se consideró importante evaluar la capacidad de los sistemas de tratamiento en estudio para remover color real, una medida indirecta de los ácidos fúlvicos y húmicos, en muchos casos el material orgánico más abundante en aguas superficiales (Ellis, 1985; Spencer et al, 1991).

Durante el primer período de evaluación el color real promedio del agua cruda fue 77 unidades (UPtCo) con una desviación estándar de 60; en el efluente de los FLA este valor cayó a 5-6 UPtCo, con una desviación de 4-6. Esto representa una eficiencia total de remoción del 94%. Durante el tercer período de evaluación, las eficiencias promedio de remoción de color real de las segundas etapas de filtración gruesa estuvieron en el rango de 41 a 53% con los valores más bajos para las alternativas FGAC y FGHM (**Figura 8, arriba**). En las líneas de tratamiento con unidades en serie, la mayor remoción tuvo lugar en las últimas unidades, posiblemente porque el agua cruda ya había sido clarificada y los lechos filtrantes de estas unidades ofrecían un ambiente mucho más apropiado para la actividad bioquímica.

Los valores promedio de color real de los efluentes de los FLA estuvieron en el rango de 7-8 UPtCo con una desviación en el rango de 2-3. Las eficiencias de remoción parcial de estas etapas de tratamiento estuvieron en el rango de 50-68% con los valores más altos para FLA 2 y FLA 3, los cuales correspondían a las alternativas de FGAC y FGHM (**Figura 5**). Estos valores son apreciablemente superiores al 30% que comúnmente se considera en la literatura como un valor promedio representativo para FLA (Ellis, 1985). Los valores más altos encontrados en este estudio pueden deberse a que la naturaleza de la contaminación y la temperatura del agua ($23 \pm 3^\circ\text{C}$) durante los períodos de mediciones no estuvieron sometidas a grandes cambios como si ocurre en los países estacionales, de donde proviene la mayor información en este campo. Se podrían considerar además otros factores como la especificidad de la materia orgánica y los beneficios potenciales de pequeñas cantidades de hierro y manganeso para su remoción (Collins et al, 1991; Spencer et al, 1991).

A pesar de las limitaciones de la DQO para medir material orgánico como precursor de THM, los valores promedio

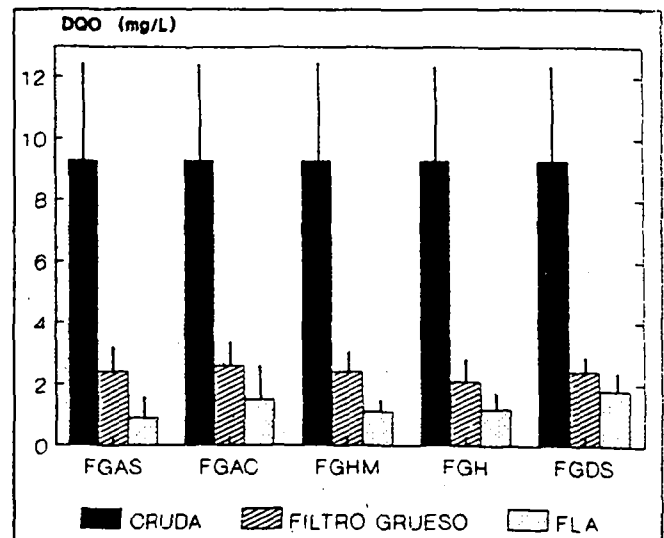
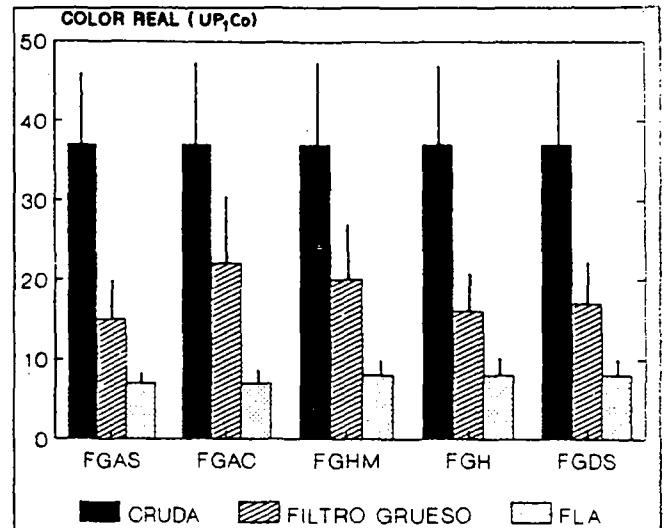


Figura 8. Valores promedio de color verdadero y DQO de las unidades experimentales; las líneas verticales indican la desviación estándar (Enero-Junio 1992).

presentados en la **Figura 8, abajo**, sustentan más aún el potencial de los sistemas de tratamiento en estudio para reducir el riesgo químico asociado con la desinfección de aguas superficiales. La eficiencia de remoción de DQO de todas las unidades FLA, excepto el FLA 5, estuvieron en el rango de 42-63% lo que está en armonía con los valores consignados en la literatura (Ellis, 1986). Sin embargo, cuando se considera en conjunto las dos etapas de filtración gruesa con la etapa de FLA, la eficiencia de remoción global para los sistemas combinados sube al rango de 80-90%.

Resultados en las Plantas a Escala Real

Los resultados de las plantas a escala real confirman el potencial de las etapas de pretratamiento. La temperatura del agua cruda en Ceylán y Restrepo es $19 \pm 4^\circ\text{C}$ y en Retiro, Colombo y Javeriana $22 \pm 5^\circ\text{C}$. Las **Figuras 9 y 10** muestran los valores promedio de turbiedad, coliformes fecales, color real y DQO con sus correspondientes desviaciones estándar en las principales etapas de tratamiento para las 5 plantas a escala real. Durante un periodo de 20 meses todas las plantas produjeron agua tratada con turbiedades promedio menores que 1 UNT y recuentos

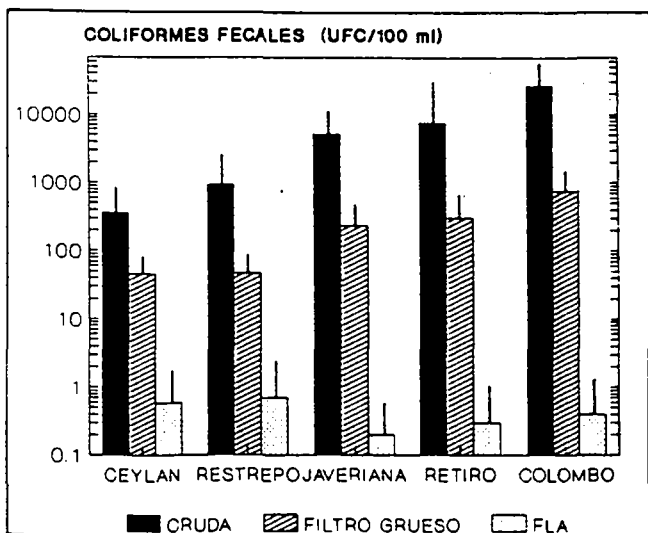
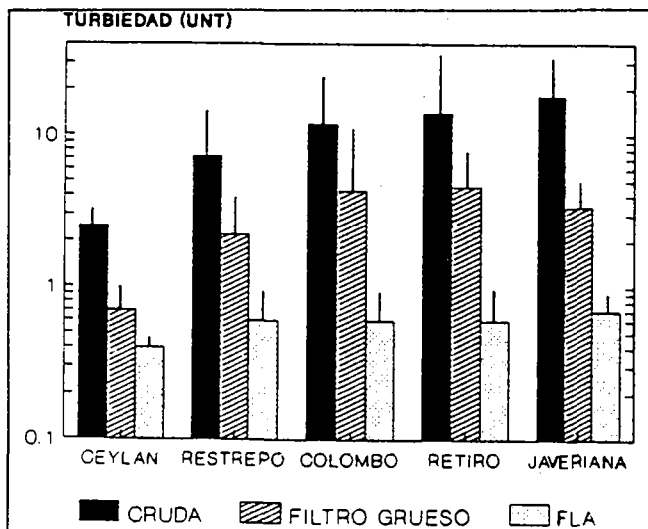


Figura 9. Niveles promedio de turbiedad y coliformes fecales en plantas de tratamiento a escala real (Oct.90 - Jun.92).

promedio de coliformes fecales inferiores a 1 UFC/100 ml. Los resultados también muestran que los sistemas de tratamiento se adaptan al tipo de agua cruda y al nivel de contaminación de ella. En Ceylán la eficiencia de remoción promedio total es 84% para turbiedad, 60% para color real, 61% para DQO y 2.7 unidades de magnitud ($2.7 \log$) para coliformes fecales, mientras que en el Colombo se presenta 95% para turbiedad, 80% para color real, 74% para DQO y 4.8 log para coliformes fecales.

Con la calidad de efluentes presentados en la **Figura 9** solamente se necesitará aplicar una dosis baja y constante de desinfectante como una barrera final de seguridad con un riesgo sanitario menor en caso de falla. Estas dosis bajas y la eficiencia en las remociones de color real y DQO, reducirán posibles efectos adversos de salud relacionados con la desinfección o con los subproductos de la desinfección.

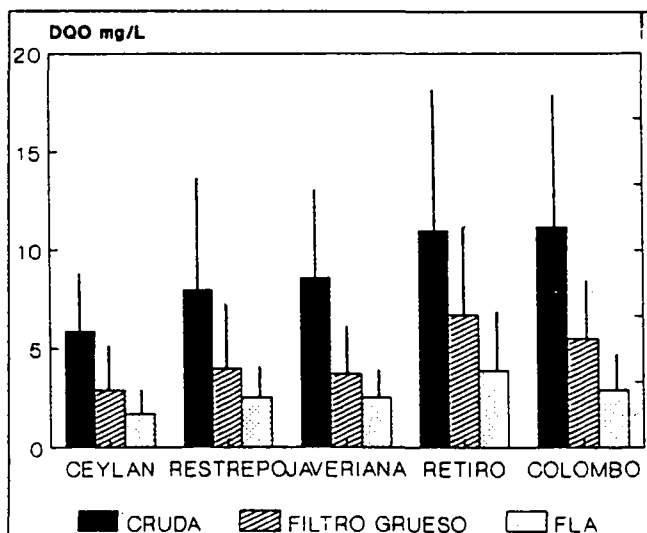
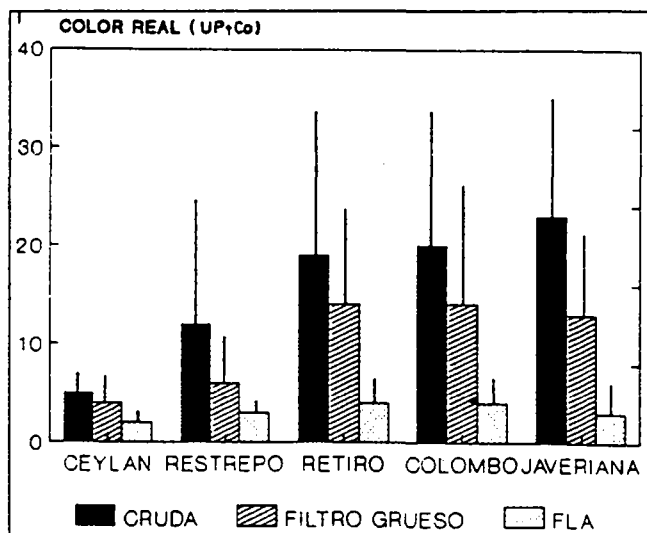


Figura 10. Valores promedio de color verdadero y DQO en plantas a escala real (Oct.90 - Jun.92).

Como una consecuencia positiva de los resultados, algunas plantas convencionales de tratamiento se están reconvirtiendo en una combinación de filtros gruesos y FLA. Además se han iniciado estudios para utilizar parte de las alternativas de filtración gruesa en la optimización de plantas convencionales de

tratamiento. Se ha estimado que puede ser obtenido un considerable ahorro en dosis de químicos y que adicionalmente la precloración puede ser evitada. Estas posibles aplicaciones ameritan investigaciones adicionales que actualmente son motivo de convenios de cooperación de CINARA con otros organismos de orden nacional e internacional.

Consideraciones sobre Operación y Mantenimiento

Un punto importante son los bajos requerimientos de operación y mantenimiento de los sistemas en estudio. Aún para las velocidades de filtración relativamente altas que han sido usadas en los diseños más recientes (2.5 - 5.0 m/h) los FGD_i requieren limpieza sólo una vez por semana durante los períodos secos y dos o tres veces por semana durante los lluviosos. Desde que el FGD_i fue introducido por CINARA como una primera etapa de pretratamiento, la pérdida de carga en los filtros gruesos se redujo hasta valores del 50%, lo que permite que éstos sean lavados hidráulicamente una vez por semana como una actividad programada, no por requerimientos de la pérdida de carga sino para mantener una actitud de mantenimiento rutinario. Los filtros gruesos experimentales a escala piloto, exceptuando el FGH que no tenía la posibilidad de limpieza hidráulica, han sido operados por más de dos años sin necesidad de retirar y limpiar los lechos de grava de las unidades. Los filtros gruesos a escala real han operado de manera semejante durante cerca de cinco años. Sin embargo, en el dimensionamiento de las unidades se debe tener en cuenta la eventual necesidad de sacar las gravas. En general, es aconsejable proyectar unidades en paralelo que faciliten la programación gradual de las actividades de mantenimiento sin permitir que ellas se concentren después de un período de varios años.

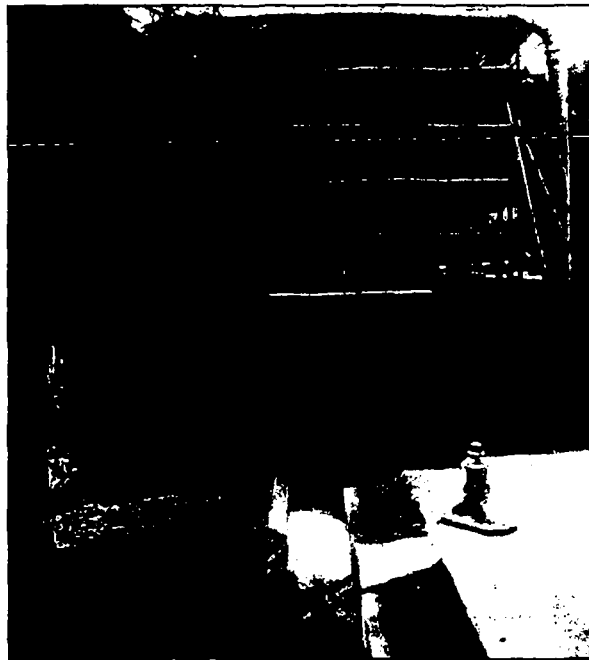
Los FLA a escala real son raspados en promedio cada 3 a 7 meses, con la frecuencia más baja para la planta de tratamiento de Ceylán y la más alta para Retiro. Todas las plantas de tratamiento son operadas y mantenidas por operadores locales y sus costos de sostenimiento son pagados completamente por la comunidad a través de las juntas administradoras o los comités locales de agua, que tienen una asistencia eventual de las autoridades regionales del sector. CINARA desarrolla y promueve actualmente un Programa de Vigilancia y Control del Abastecimiento de Agua, con participación comunitaria, en coordinación con entidades regionales y locales del Ministerio de Salud que incluye, entre otras actividades, capacitación en relación con la tecnología de filtración en múltiples etapas.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

La combinación de filtración lenta en arena con dos etapas de filtración gruesa, tanto a escala piloto como a escala real, ha demostrado ser altamente efectiva en la reducción de riesgos asociados con enfermedades de origen hídrico y además tiene

gran potencial en la reducción de la concentración de precursores de THM. Este sistema de filtración en múltiples etapas puede ser muy efectivo en la remoción de materia orgánica, como lo muestran los datos de color real y DQO. De otra parte, la desinfección del efluente de estos sistemas de filtración debería requerir sólo dosis bajas y constantes de cloro. El establecimiento definitivo de este importante potencial es motivo de otros proyectos de investigación y desarrollo en cooperación con otras instituciones.

Consecuentemente, la tecnología resulta ser de gran importancia tanto para abastecimientos rurales y pequeños municipios, donde la calidad bacteriológica es la principal preocupación y en donde la desinfección eficaz puede tener dificultades por razones de infraestructura, como también para los abastecimientos de municipios intermedios y mayores que a menudo dependen de aguas crudas con niveles medios y altos de contaminación microbiológica o físico-química con alto potencial de formación de THM.



Los resultados muestran que se pueden ofrecer tratamientos eficaces, con bajos requerimientos de operación y mantenimiento, para aguas de abastecimiento comunitario. La incorporación de las etapas de filtración gruesa reduce los niveles de sólidos suspendidos y de otros contaminantes físico-químicos o microbiológicos haciendo posible la utilización de la filtración lenta en arena con aguas que, debido a su alto nivel de contaminación, se consideraban hasta ahora imposibles de tratar con la tecnología de FLA. Sin embargo, para una apropiada selección y combinación de estas etapas de tratamiento se requiere una buena apreciación de la calidad de agua en la fuente, además de un acertado criterio de decisión que debe tomar en cuenta tanto los riesgos sanitarios que se desean reducir o eliminar, como la

eficacia de los tratamientos y sus posibilidades de aceptación y permanencia, de acuerdo con la comunidad a abastecer.

Con base en los resultados de las actividades de investigación y desarrollo, se tienen previstas actividades de transferencia, las cuales incluyen producción de guías de selección, diseño, operación y mantenimiento de estas tecnologías.

AGRADECIMIENTOS

Una versión en inglés de este artículo fue presentada originalmente en la Primera Conferencia Internacional sobre "The Safety of Water Disinfection. Balancing Chemical and Microbial Risk", organizada por ILSI (International Life Science Institute) en Washington en el período Agosto 31 a Septiembre 3 de 1992. Las actividades de investigación que se resumen en este artículo son apoyadas por el Gobierno de Colombia a través de varias instituciones del sector de abastecimiento de agua y saneamiento; la Universidad del Valle, las Empresas Municipales de Cali, EMCALI, y por el Gobierno de los Países Bajos, a través del IRC (International Water Supply and Sanitation Centre). Se incluye también información sobre proyectos desarrollados por CINARA,

en colaboración con el IRCWD de Suiza; Centre for Environmental Health and Water Engineering, Universidad de Surrey, de Inglaterra; IDRC de Canadá y la Organización Sanitaria Panamericana (OPS/OMS).

REFERENCIAS

Collins MR, Eigmy TT, Malley JP (1991) Evaluating modifications to slow sand filters. Journal AWWA, September 1991.

Ellis KV (1985) Slow sand filtration; CRC critical reviews in environmental control. Volumen 15, issue 4, pp 315-354.

Galvis G, Quiroga R, Latorre J et al (1989) Proyecto integrado de investigación y demostración filtración lenta en arena. Informe final, CINARA - IRC.

Galvis G, Visscher JT, Lloyd B (1991) Overcoming water quality limitation with the multibarrier concept. A case study from Colombia. Slow Sand Filtration Workshop. AWWA - University of New Hampshire, Durham.

Galvis G, Fernández JE (1991) Manual de diseño, operación y mantenimiento de filtros gruesos dinámicos. CINARA, Cali, Colombia.

Lloyd B (1974) The functional microbiological ecology of slow sand filter. PhD Thesis, University of Surrey, UK.

Lloyd B, Helmer R (1991) Surveillance of drinking water quality in the rural areas. Published for WHO and UNEP by Longman Scientific and Technical.

Okun DA (1991) Best available source. AWWA Journal, March 1991.

Pardon M (1989). Treatment of turbid surface water for small community supplies. PhD Thesis, University of Surrey, UK.

Rook JJ (1974) Formation of haloforms during chlorination of natural water. Journal Water Treatment and Examination, 23:2:234.

Reiff F (1988) Desinfección del agua potable con una mezcla de gases oxidantes producidos in situ (Moggod). Boletín Oficina Sanitaria Panamericana, 1988, 105(4) 371-389.

Singley JE (1988) Discusión sobre desinfectantes y oxidantes. En Acodal Seccional Valle del Cauca (ed). Memorias del Taller Internacional "Actualización en desinfección de aguas", Cali, Colombia.

Smet JE, Visscher JT (1989) Pretreatment methods for community water supplies: an overview of techniques and present experience, IRC, The Netherlands.

Spencer CM, Collins MR (1991) Water quality limitations to the use of slow sand filters. Slow sand filtration workshop, AWWA, University of New Hampshire, Durham.

Standar methods for the examination of water and wastewater (1981, 1989) Washington D.C. American Public Health Association, 15th and 17th editions.

Wegelin M (1986) Horizontal-flow roughing filtration, a design, construction and operation manual, IRCWD, Duenbendorf.

Wegelin M, Schertenleib R, Boller M (1991) The decade of roughing filters - Development of rural water-treatment process for developing countries. J water SRT - AQUA, Vol. 40, n 5, pp 304-316.



**TECNICA
HYDRAULICA LTDA.**

SISTEMAS DE BOMBEO

LIDERES EN CALIDAD Y SERVICIO

Representantes autorizados de:
BOMBAS SIHI-HALBERG S.A.

BOMBAS • Centrífugas - Multietapas de procesos



• Sumergibles lapicero

• Sumergibles para aguas residuales ABS

• Vacío, de anillo líquido SIHI

VALVULAS  **HELBERT**

de cortina, cheque, pie y seguridad para agua y vapor.



Equipos
hydraconstant y
bombas.

Equipos de presión
diferencial.

Tels: 645522 - 645528 - 648556 - 648372.

Av. 2A Norte No. 44-231 Vipasa

Fax: (923) 649429 • A.A. 7044

Call - Colombia