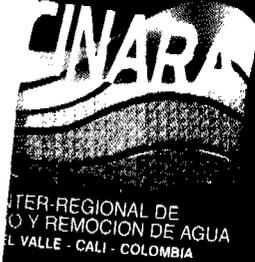


255.1

89 PR



INTER-REGIONAL DE  
Aprovechamiento y Remoción de Agua  
DEL VALLE - CALI - COLOMBIA



IRC  
International Water  
and Sanitation Centre  
WHO Collaborating Centre  
The Hague, The Netherlands

116 -

# Proyecto Integrado de Investigación y Demostración en Filtración Lenta en Arena

Informe Final - versión definitiva



Con el apoyo del  
Directorio de Agua y Saneamiento  
de la Corporación de Estudios y  
Investigaciones de Cali



Ministerio de Salud  
de Colombia



EMCALI  
Gerencia de Acueducto  
y Alcantarillado



Comité Departamental  
de Cafeteros del Valle



ORGANIZACION MUNDIAL  
DE LA SALUD  
Oficina Sanitaria Panamericana

Proyectos de Estudio, Desarrollo y  
Ejecución Interdisciplinarios  
Aplicados al Abastecimiento

255.1-89 PR-6596

Proyecto Integrado de Investigación  
y Demostración en Filtración -  
Lenta en Arena.

LIBRARY  
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND  
SANITATION (IRC)

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE  
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY  
AND SANITATION (IRC)  
P.O. Box 23150, 2300 AD The Hague  
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

BN: 6596

LO: 255.1 89PR

Foto carátula: Corregimiento de Salónica, municipio de Riofrio ,  
zona cafetera del departamento del Valle del Cauca,  
Colombia.

**Proyecto Integrado de Investigación  
y Demostración en Filtración  
Lenta en Arena**

**Informe Final • Versión Resumida**

LIBRARY  
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND  
SANITATION (IRC)

Edición:  
© CINARA: Centro Inter-Regional de Abastecimiento  
y Remoción de Agua

Diseño y Producción Integral  
ULTRATEXTOS LTDA. - Cali

Impreso en Colombia, 1989

# Proyecto Integrado de Investigación y Demostración en Filtración Lenta en Arena

Informe Final • Versión Resumida

**Gerente Internacional del Proyecto. IRC**  
INTERNATIONAL WATER AND SANITATION CENTRE  
Jan Teun Visscher

**Director Nacional del Proyecto. CINARA**  
CENTRO INTER-REGIONAL DE ABASTECIMIENTO Y REMOCION DE AGUA  
Gerardo Galvis C.

**Coordinadores de Subproyectos o  
actividades específicas**

Edgar Quiroga R.  
Jorge Latorre M.  
Alberto Galvis C.  
Ramón Duque M.  
Camilo H. Cruz V.

Información adicional sobre el tema:

■ **ING. GERARDO GALVIS CASTAÑO**

**CINARA - Centro Inter-Regional de Abastecimiento y  
Remoción de Agua**

Teléfonos, del exterior, (57-23) 392345  
(57-23) 393041, extensiones 153; 159  
Apartado Aéreo: 25360 Cali, Colombia  
Fax: 57-23-397264  
Télex: 51332 UVALL CO

■ **ING. JAN TEUN VISSCHER**

**IRC - International Water and Sanitation Centre**  
P. O. BOX 93190  
2509 AD The Hague The Netherlands  
Telephone: 31-70-814911  
Fax: 31-70-814034  
Télex: 33296 IRC NL  
Cable: Worldwater, The Hague

## **Del Area de Abastecimiento y Remoción de Agua al CINARA**

El AREA está orientada a la investigación, el desarrollo y la transferencia integral de tecnología en el campo del abastecimiento y la remoción de agua. De esta manera, enfrenta el reto de hacer más eficiente y equitativa la prestación de estos servicios, indispensables para el mejoramiento de la calidad de la vida de nuestros asentamientos humanos.

El trabajo del AREA se ha enfocado principalmente hacia el sector rural, el pequeño y mediano municipio y los asentamientos urbano-marginales en las grandes ciudades. La componente de transferencia del AREA permite presentar información confiable y recuperar de manera organizada los conocimientos adquiridos en cumplimiento de sus diferentes proyectos. Estas actividades se realizan en un esfuerzo integrado con las distintas organizaciones del sector, bien sea ligadas a la planeación, la construcción, la administración o al control de las obras, de manera que la componente de transferencia no sólo promueve resultados, sino que a su vez retroalimenta el trabajo técnico del grupo.

En el AREA trabajan profesionales de la ingeniería conjuntamente con profesionales de las ciencias sociales y de las ciencias básicas, aprovechando en lo posible la infraestructura de la Universidad o de las instituciones del sector, en la región con la cual se esté colaborando.

El grupo también está relacionado con agencias internacionales y con otros grupos de trabajo localizados en países como: Brasil, Canadá, Estados Unidos, Holanda, Inglaterra, Perú y Suiza. De ellos recibe financiación, apoyo o asesoría y con ellos también confronta y comparte los resultados de sus experiencias.

El esquema de trabajo desarrollado por el AREA, la identificación y el crecimiento del grupo, que ahora supera las 35 personas, incluyendo más de 20 profesionales trabajando de tiempo completo en diferentes proyectos, ha motivado a diferentes organizaciones tanto internacionales como nacionales a recomendar su consolidación y fortalecimiento a través de la creación de un Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua, lo cual se ha hecho ya con el nombre de CINARA.

Para mayor información:

### **CINARA**

A.A. 25360

TELEFONO: 392345 ó 393041 Ext. 153 ó 159

TELEX: 51332 UVALL CO

FAX: 5723 - 397264

CALI - COLOMBIA - SURAMERICA

## **IRC - International Water and Sanitation Centre**

El IRC es una fundación independiente y sin ánimo de lucro. Es apoyada por el Gobierno de los Países Bajos, la UNPD, la UNICEF, el Banco Mundial y la OMS, con quienes mantiene una estrecha interrelación. Para ellos actúa como un centro colaborante en el Abastecimiento de Agua y el Saneamiento Comunitario.

El IRC se interesa en la generación y transferencia de conocimientos y en el intercambio de información técnica para abastecimiento de agua y saneamiento ambiental en países en desarrollo. Su énfasis recae en la aproximación creativa a los problemas de mayor prevalencia. La finalidad de los grupos es el manejo de la dirección técnica referente a la implantación planificada y el uso de ayudas en abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales y urbano-marginales.

El Centro trabaja con entidades colaboradoras en los países en desarrollo, con organizaciones de las Naciones Unidas por medio de convenios bilaterales y con organizaciones no gubernamentales.

Su personal multidisciplinario brinda apoyo al desarrollo y demostración de proyectos, a la evaluación y asesoría, al entrenamiento y educación, a publicaciones e intercambio general de información.

En su trabajo, el IRC enfatiza la integración de los aspectos sociales con los aspectos técnicos en abastecimiento de agua y saneamiento e incluye la participación comunitaria, particularmente en torno al papel de la mujer, educación en higiene, tecnología apropiada, operación y mantenimiento, administración financiera y desarrollo del intercambio de información.

Para mayor información dirigirse a:

### **IRC**

P. O. Box 93190 2509 AD The Hague The Netherlands

Telephone: 31-70-814911

Fax: 31-70-814034

Télex: 33296 IRC NL

Cable: Worldwater, The Hague

# Reconocimientos

Este documento resume el conjunto de actividades realizadas en Colombia en desarrollo del Proyecto Integrado de Investigación y Demostración de Filtración Lenta en Arena, apoyado financieramente por el Gobierno de Holanda a través del Departamento de Investigación y Desarrollo de Tecnología del Ministerio de Asuntos Exteriores y dirigido por el ingeniero Jan Teun Visscher del IRC International Water and Sanitation Centre.

A nivel nacional, el Proyecto fue dirigido por el ingeniero Gerardo Galvis, del Area de Abastecimiento y Remoción de Agua de la Universidad del Valle.

Los ingenieros Edgar Quiroga, Jorge Latorre y Alberto Galvis coordinaron tres de los subproyectos y los ingenieros Ramón Duque y Camilo H. Cruz lo hicieron con dos de las actividades específicas. Con ellos colaboraron profesionales de ciencias sociales e ingeniería, junto con tecnólogos, estudiantes, dibujantes o auxiliares.

Se contó además, con la asesoría de diferentes profesionales tanto para el desarrollo de su esquema de trabajo como para los aspectos específicos del Proyecto. Temiendo omitir algunos nombres, se menciona a: Alberto Florez, Barry Lloyd, Luiz Di Bernardo, Mauricio Pardon, Martin Wegelin, Donald Sharp, Alejandro Salazar, Antonio Castilla, Ramón Duque, Diego Rengifo, entre otros.

En el desarrollo del Proyecto, el AREA, con el apoyo del IRC y de la OPS/OMS, estableció contactos con otros organismos de orden internacional como CEPIS,

IDRC, IRCWD/EAWAG, Robens Institute, Escuela de Ingeniería de Sao Carlos - Universidad de Sao Paulo, Banco Mundial, Imperial College of Science and Technology -University of London, Universidad de Delft, IHE, GTZ y UNICEF.

El Proyecto se adelantó en Colombia en el marco de la Cooperación existente entre el Ministerio de Salud y la Universidad del Valle y el cumplimiento de sus objetivos fue posible gracias a la colaboración de múltiples instituciones relacionadas con el sector de abastecimiento de agua. Entre ellas están: Departamento Nacional de Planeación; Ministerio de Salud; Instituto Nacional de Salud; Servicios Seccionales de Salud del Valle, del Cauca, y del Tolima; CVC-PLADEICOP; CVC-División de Aguas; Beneficencia del Valle; INFIVALLE; Comité Departamental de Cafeteros del Valle; Secretaría de Obras Públicas del Quindío; ACODAL (Nacional y Seccional Valle del Cauca); EMCALI; Secretarías de Salud y Obras Públicas del Municipio de Cali.

Diferentes unidades académicas de la Universidad del Valle también prestaron su colaboración, tales como los Departamentos de Procesos Químicos y Biológicos, de Sólidos y Materiales, de Información y Sistemas, de la Facultad de Ingeniería, y el Departamento de Microbiología de la Facultad de Salud.

La Coordinación Administrativa de la Facultad de Ingeniería y la Administración Central de la Universidad del Valle, a través de su permanente colaboración hicieron posible el cumplimiento del Proyecto, a pesar de las limitaciones existentes.

Especial significado para realizar este Proyecto y para promover o concretar otros actualmente en ejecución ha tenido la confianza y el respaldo recibidos de la Jefatura del Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas, la Decanatura de la Facultad de Ingeniería, las Vicerrectorías de Investigaciones, Académica y Administrativa y la Rectoría de la Universi-

dad del Valle. Gracias al espacio por ellas brindado se conformó un grupo de trabajo que ha motivado tanto a organismos internacionales como nacionales a recomendar su consolidación y fortalecimiento a través de un Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua, lo cual se ha hecho ya con el nombre de CINARA.

## Resumen

Este informe presenta una visión global de las experiencias y los resultados obtenidos por el grupo de trabajo formado alrededor del Area de Abastecimiento y Remoción de Agua de la Universidad del Valle en el Proyecto Integrado de Investigación y Demostración en Filtración Lenta en Arena, desarrollado con la asesoría del IRC International Water and Sanitation Centre y con el apoyo financiero de los Países Bajos a través del DPO/OT, Departamento de Investigación y Desarrollo de Tecnología del DGIS, Directorate General for Development Co-operation.

El Proyecto se orientó a: capacitar y desarrollar recurso humano; identificar y evaluar la factibilidad de alternativas de pretratamiento que posibilitaran el uso de la tecnología con aguas de alto contenido de sólidos; mejorar el diseño de las plantas para facilitar su operación y mantenimiento; desarrollar material didáctico para los operadores; identificar y evaluar equipo simplificado para estudiar el comportamiento de las plantas; estudiar comparativamente los costos de construcción de plantas convencionales con plantas de filtración lenta en arena, con base en la promoción de la tecnología en la zona de ladera del valle geográfico del río Cauca.

Se presenta también una reflexión sobre el alcance y las perspectivas del Proyecto a nivel departamental, nacional e internacional y finalmente se incluyen consideraciones sobre el grupo de trabajo involucrado en su desarrollo.

## Summary

This report is based on the results and practical experience gained by the Working Group Area de Abastecimiento y Remoción de Agua of the Universidad del Valle, Cali, Colombia, in the Project on Slow Sand Filtration. The Project has been carried out in close collaboration with the IRC International Water and Sanitation Centre and with financial support from the Department of Research and Development of the Netherlands Directorate General for Development Co-operation.

The Project focussed on: human resources development; selection and evaluation of different pre-treatment methods which facilitate the use of slow sand filtration for highly turbid waters; improvement of slow sand filter design; development of training for caretakers; selection and evaluation of simplified equipment for monitoring slow sand filter performance and finally a cost comparison between conventional water treatment methods and slow sand filtration.

The report also addresses the impact and the perspectives of the Project at regional, national and international level and provides information on the Working-group who implemented the Project.



# Contenido

	Pág.		
<b>Reconocimientos</b> .....	<b>1</b>	<b>2.2 Estudio preliminar sobre alternativas de pretratamiento</b> .....	<b>11</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>3</b>	2.2.1 Objetivos específicos .....	11
<b>Summary</b> .....	<b>3</b>	2.2.2 Método .....	11
<b>1 Introducción</b> .....	<b>7</b>	2.2.3 Consideraciones sobre los resultados .....	12
<b>2 Información sobre los resultados de los subproyectos</b> .....	<b>9</b>	2.2.4 Conclusiones .....	15
<b>2.1 Capacitación. Desarrollo de recurso humano. Divulgación</b> .....	<b>9</b>	<b>2.3 Evaluación de sistemas en operación</b> .....	<b>16</b>
2.1.1 Organización de un grupo de trabajo con capacidad de adaptar y promover la tecnología de FLA según la realidad regional .....	9	2.3.1 Visitas técnicas. Reconocimiento de plantas existentes .....	16
2.1.2 Promoción integral de la tecnología. Proyectos de demostración .....	9	2.3.2 Evaluación de sistemas en operación. Visión global .....	16
2.1.3 Cursos especiales. Talleres de nivel profesional .....	9	2.3.3 Evaluación de sistemas en operación. "El Retiro". Visión específica .....	18
2.1.4 Cursos regulares de formación profesional. Proyecto de postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental .....	10	<b>2.4 Consideraciones sobre las experiencias de diseño</b> .....	<b>25</b>
2.1.5 Cursos especiales. Talleres con promotores de salud .....	10	2.4.1 Objetivos específicos .....	26
2.1.6 Presentación del Proyecto en seminarios o eventos especiales. ....	11	2.4.2 Método .....	26
2.1.7 Visitas técnicas a los proyectos de demostración y solicitud de información al AREA .....	11	2.4.3 Análisis de resultados .....	28
		2.4.4 Conclusiones .....	30
		<b>2.5 Simplificación de la operación y el mantenimiento</b> .....	<b>31</b>
		2.5.1 Medición y regulación de caudal .....	31
		2.5.2 Unidades de tratamiento con control de flujo a la entrada ..	32
		2.5.3 Tubería móvil para rebose y drenaje del sobrenadante en las unidades de FLA .....	32

2.5.4 Estructuras de entrada y salida de las unidades de FLA .....	32	<b>3 Consideraciones sobre el impacto y las perspectivas del Proyecto .....</b>	<b>43</b>
2.5.5 Válvulas de apertura rápida. Retrolavado de unidades de pretratamiento .....	33	3.1 A nivel regional .....	43
2.6 Equipo simplificado para la caracterización del agua y el control de las unidades de tratamiento .....	34	3.2 A nivel nacional .....	44
2.6.1 Turbinas .....	34	3.3 A nivel internacional .....	45
2.6.2 Turbidímetro de columna .....	34	<b>4 Organización general del grupo de trabajo para participar en el desarrollo del Proyecto .....</b>	<b>47</b>
2.7 Estudio sobre cantidades de obra y costos .....	35	4.1 Consideraciones generales .....	47
2.7.1 Objetivos específicos .....	35	4.2 Recurso humano adscrito directamente al Area de Abastecimiento y Remoción de Agua .....	48
2.7.2 Método .....	35		
2.7.3 Consideraciones sobre los resultados .....	36		
2.7.4 Conclusiones .....	41		

# 1 Introducción

El Proyecto se orientó a dar respuesta a la creciente necesidad de alternativas confiables y de bajo costo para el tratamiento de agua. Las actividades ejecutadas hicieron parte de un programa internacional para investigar y promover el uso de la tecnología de filtración lenta en arena (FLA), el cual fue concebido por el IRC International Water and Sanitation Centre y financiado a través del DPO/OT, Departamento de Investigación y Desarrollo de Tecnología del DGIS (Netherlands Directorate General for Development Co-operation).

En la ejecución de las primeras fases del programa internacional se identificaron diferentes factores limitantes para una aplicación más amplia de la tecnología. El presente Proyecto fue orientado a superar varios de esos factores limitantes, mediante la ejecución de un conjunto de acciones en un trabajo integrado del Área de Abastecimiento y Remoción de Agua (el AREA) de la Universidad del Valle (UNIVALLE) con diferentes instituciones en Colombia, tanto del nivel nacional como del nivel departamental y local. La asesoría del IRC en el marco del programa comenzó de manera preliminar en 1982 y se formalizó con el desarrollo del Convenio UNIVALLE/IRC No. 35.861 a partir de 1985.

Este informe presenta una visión global de los alcances y logros del conjunto de acciones realizadas. En de-

sarrollo del convenio se produjeron ponencias, documentos y manuales. Se prevé la producción de nuevos artículos que recuperen y divulguen adicionalmente esta experiencia con énfasis en varios de los subproyectos específicos. Estos subproyectos se presentan en el Aparte 2 y cubren los siguientes aspectos: capacitación y desarrollo de recurso humano; pretratamiento en filtros gruesos de flujo vertical; simplificación del diseño, la operación y el control de las plantas de tratamiento y un estudio comparativo de costos de la tecnología FLA con la denominada tecnología convencional de potabilización.

Con base en el programa de descentralización político-administrativa y de ajuste del sector del agua que adelanta el Gobierno de Colombia, se presentan en el Aparte 3 algunas consideraciones sobre el impacto y las perspectivas del Proyecto tanto a nivel local como a nivel nacional. En este Aparte también se presentan reflexiones sobre la importancia del Proyecto ante el renovado interés de diferentes países en la tecnología de filtración lenta en arena.

En el Aparte 4 se describen las principales características del grupo de trabajo que participa en el desarrollo del Proyecto, el cual se orienta, en general, al estudio, desarrollo y promoción integral de tecnologías aplicadas al abastecimiento y remoción de agua.



## 2 Información sobre los resultados de los subproyectos

Los subproyectos desarrollados interactuaron, y su ejecución se enriqueció con la discusión periódica de los diferentes profesionales quienes ejercieron la labor de asesores, y por el apoyo del IRC, que suministró información de los resultados obtenidos por grupos de trabajo en diferentes países y actuó como asesor internacional no sólo en la ejecución del Proyecto, sino también en el desarrollo del AREA.

### 2.1 Capacitación. Desarrollo de recurso humano. Divulgación

La transferencia y el uso apropiado de la tecnología de FLA en las diferentes zonas geográficas se han visto restringidos por la falta de capacitación, experiencia e información, a nivel local. Las acciones presentadas a continuación guardan relación con este factor limitante.

#### 2.1.1 Organización de un grupo de trabajo con capacidad de adaptar y promover la tecnología de FLA según la realidad regional

La ejecución de este subproyecto posibilitó la organización de un grupo de trabajo en torno al AREA con un mínimo de capacitación y experiencia para promover el uso de la tecnología de FLA.

Este grupo creció y, en desarrollo del Proyecto, identificó un esquema de trabajo que está siendo aprovechado en sus nuevas actividades. En este esquema, es importante tanto la adaptación y el desarrollo de la

tecnología como su transferencia eficaz a nivel político-administrativo, profesional, técnico, operacional, y la consideración de las comunidades como gestoras de su propio desarrollo. En el Aparte 4 se presenta información adicional al respecto.

#### 2.1.2 Promoción integral de la tecnología. Proyectos de demostración

Los proyectos de demostración fueron planificados y ejecutados en estrecha colaboración con diferentes instituciones del sector de agua en el valle geográfico del río Cauca. Ocho de ellos ya están en operación y doce más lo harán en 1989. En el Aparte 2.3 se presenta información adicional. Estas plantas de demostración constituyen una infraestructura de gran utilidad para la ejecución de otros proyectos ligados al uso continuado de la tecnología, con administración comunitaria y para apoyar el entrenamiento de profesionales y técnicos de otras regiones.

#### 2.1.3 Cursos especiales. Talleres de nivel profesional

En el marco del Proyecto, el AREA ejecutó tres talleres nacionales (febrero 1986, febrero 1987 y octubre 1988) con sede en la Universidad del Valle, y apoyó la ejecución de otro en Brasil con sede en la Universidad Católica del Paraná (octubre 1987). A nivel regional se realizó un taller (febrero 1988) con la Unidad de Ingeniería del Comité Departamental de Cafeteros del Valle, en las instalaciones del Centro Integrado de

Desarrollo Rural (CIDER) de Restrepo (Valle). Estos talleres contaron con la asistencia de más de cien profesionales y se orientaron a presentar las posibilidades y las limitaciones de la tecnología, con base en la experiencia del IRC en general y del AREA en particular. Los participantes en estos talleres requieren entrenamiento adicional en aspectos más específicos de diseño, construcción, operación y mantenimiento, todo ello con criterio social comunitario.



*Fig. No. 1. Aspectos del Seminario de Transferencia de Tecnología en Filtración Lenta en Arena y Pretratamientos. Octubre de 1988. Cali - Colombia.*

#### **2.1.4 Cursos regulares de formación profesional. Proyecto de postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental**

Los resultados del Proyecto están siendo presentados por el AREA en los cursos de Acueductos, Diseño de Plantas e Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias que se ofrecen regularmente a los planes de estudio de Ingeniería Civil, Ingeniería Sanitaria y Arquitectura, de la Universidad del Valle.

Además, la infraestructura generada por este Proyecto ha sido considerada como parte importante para soportar un programa de postgrado en Ingeniería Sanitaria en la Universidad del Valle que tendría el apoyo del Gobierno de Holanda a través del International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE). Este apoyo fue motivado por la dirección del Convenio UNIVALLE - IRC con motivo de la visita realizada a los Países Bajos en noviembre de 1986.

#### **2.1.5 Cursos especiales. Talleres con promotores de salud**

Estos talleres fueron orientados a la evaluación de materiales didácticos con los promotores de salud, con el propósito de apoyar y enriquecer su papel de supervisores y asesores durante su frecuente contacto con las comunidades y con los operarios de los sistemas.

- a. Taller con quince promotores del valle geográfico del río Cauca, para presentar y discutir la versión preliminar del Manual para Operadores de Plantas de FLA producido por el IRC y traducido por el AREA. Este taller fue organizado con el Centro Regional de Desarrollo de Recursos Humanos en Salud (CENTRA) y el Plan de Desarrollo Integral para la Costa Pacífica - Corporación Autónoma Regional del Cauca (PLADEICOP-CVC), y realizado en Palmira en julio de 1987.
- b. Taller para promotores de saneamiento de la Costa Pacífica Colombiana, organizado por el AREA en coordinación con PLADEICOP - CVC para probar una cartilla sobre abastecimiento de agua, elaborada tomando en consideración criterios de calidad de agua y de desarrollo comunitario en la que se incluye la tecnología de FLA como alternativa de potabilización.



*Fig. No. 2. Visita técnica realizada a la planta de tratamiento de la vereda "La Sirena" durante el Taller sobre Abastecimiento de Agua con Criterios de Calidad y de Organización Comunitaria. Noviembre de 1988. Cali - Colombia.*

### 2.1.6 Presentación del Proyecto en seminarios o eventos especiales

El Proyecto ha sido presentado en diferentes eventos nacionales e internacionales, algunos de los cuales han obtenido divulgación a través de medios de comunicación nacional de amplia cobertura.

- a. Simposio Nacional sobre Uso Social del Agua. Bogotá. Divulgación en el diario "El Espectador", agosto 1 de 1986.
- b. Presentación al Gobernador del Departamento del Valle del Cauca y a representantes de las principales empresas del sector en el Valle. Divulgación en el diario "El País", septiembre 16 de 1986.
- c. Seminario Internacional sobre Tecnología Simplificada para Potabilización de Agua, organizado por ACODAL, Seccional Valle del Cauca, en agosto de 1987. Además de las ponencias presentadas, se incluyó una visita técnica al proyecto de demostración de "El Retiro" que mereció el reconocimiento de participantes de más de diez países y la divulgación de imágenes de la visita en la televisión nacional.



*Fig. No. 3. Aspecto de la presentación del Proyecto al Gobernador del Departamento del Valle y a representantes de empresas del sector de abastecimiento de agua.*

- d. Seminario sobre Ecotecnologías para el Desarrollo Municipal, Villa de Leyva (Boyacá). Divulgación en el diario "El Tiempo", septiembre 4 de 1988.
- e. VIII Congreso de Ingenieros de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Manizales, septiembre de 1988.

### 2.1.7 Visitas técnicas a los proyectos de demostración y solicitud de información al AREA

El esquema de trabajo del AREA generan frecuentes solicitudes, incluso de otros países latinoamericanos, para visitar los proyectos de demostración y para recibir información. Estas solicitudes han sido atendidas, pero se requiere una mayor organización y financiación para llevarlas a cabo.

## 2.2 Estudio preliminar sobre alternativas de pretratamiento

Turbiedades altas, superiores a 20 unidades nefelométricas de turbiedad, UNT, limitan el uso de la tecnología de FLA pues intensifican las labores de operación y mantenimiento y reducen la eficacia de las unidades. En estos casos, el agua debe adecuarse previamente mediante diferentes procesos, conocidos en general como pretratamientos. El pretratamiento debe guardar armonía con la simplicidad del uso de la tecnología de FLA, sobre todo cuando ésta se aprovecha en comunidades de bajos ingresos.

En este subproyecto se estudiaron de manera preliminar diferentes alternativas de filtración gruesa de flujo vertical para establecer su factibilidad. Estas se relacionan a continuación:

- a. Filtración gruesa de flujo descendente en serie (FGDS)
- b. Filtración gruesa de flujo ascendente en serie (FGAS)
- c. Filtración gruesa de flujo ascendente en capas (FGAC)

### 2.2.1 Objetivos específicos

- a. Estudiar de manera preliminar el comportamiento de diferentes alternativas de pretratamiento en condiciones semejantes de operación.
- b. Identificar procedimientos que faciliten el mantenimiento periódico de las unidades.
- c. Promover el aprovechamiento de los resultados y verificar su aplicación a escala real.

### 2.2.2 Método

Para estudiar las diferentes alternativas, se construyeron conjuntos de unidades piloto que trataron agua de tres fuentes superficiales en la ciudad de Cali y otras en

las ciudades de Buga, Tuluá y Zarzal, en el departamento del Valle del Cauca. Las unidades de pretratamiento se construyeron en tubería de PVC de 8 pulgadas de diámetro y se operaron con velocidades de 0.7 m/h. Sin embargo, los caudales a tratar eran muy pequeños y la operación de las plantas requería mucho cuidado para obtener resultados confiables, sin utilizar equipo especializado de dosificación y control. Inicialmente se programaron dos muestreos semanales en promedio. Para resolver los problemas de interrupción del flujo en los sistemas, fue necesario que estudiantes de último año de Ingeniería Sanitaria residieran en los sistemas piloto un promedio de ocho horas diarias en el período de julio - octubre de 1986. Por esta razón, sólo los tres sistemas construidos en la ciudad de Cali fueron incluidos en esta etapa final del estudio.

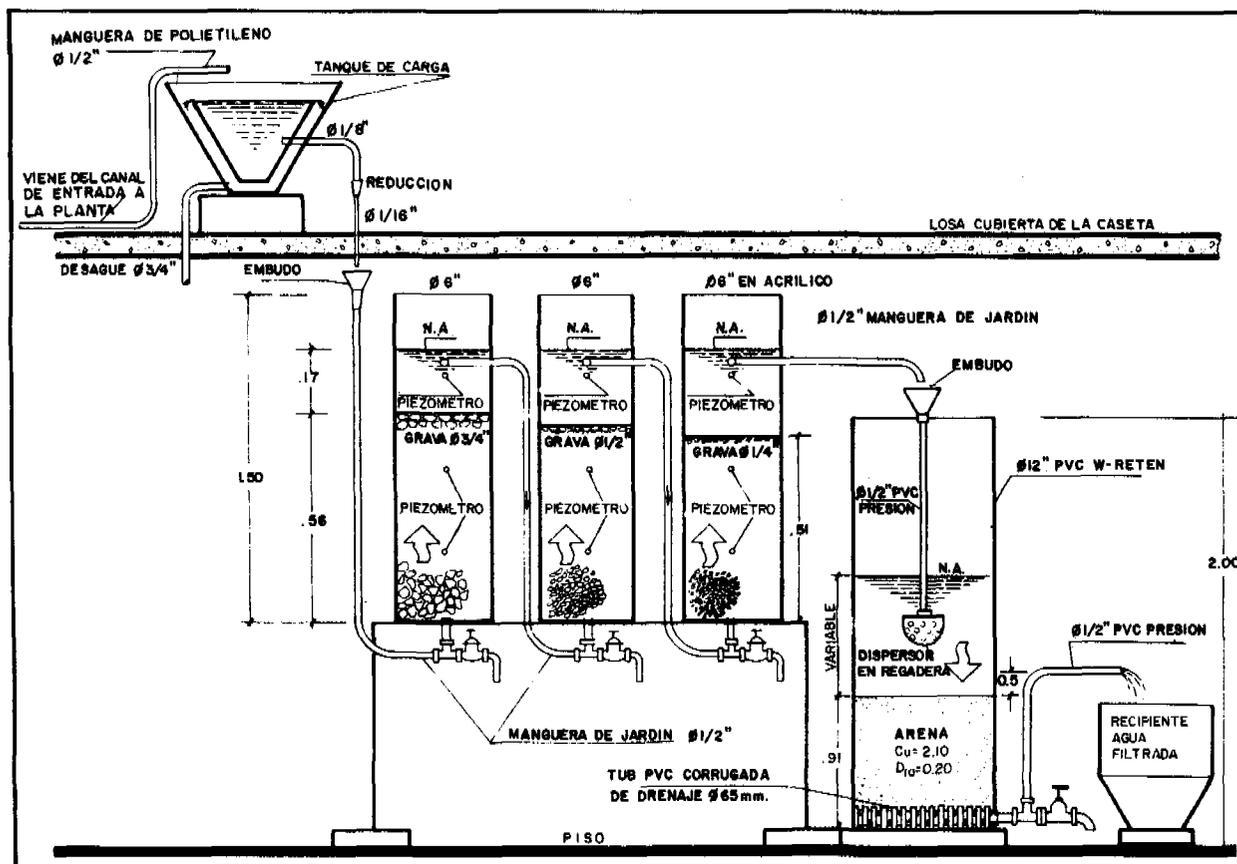
Se efectuaron drenajes rápidos de los filtros gruesos para eliminar los sólidos acumulados y se midió el cambio de turbiedad en el efluente para tener una idea del impacto de la descarga en las unidades.

La experiencia a escala piloto se utilizó en la promoción de la tecnología a través de proyectos de demostración. El comportamiento de uno de ellos fue evaluado como se muestra más adelante en el Aparte 2.3.3.

### 2.2.3 Consideraciones sobre los resultados

a. El sistema piloto de "El Retiro", alimentado con agua del río Pance, ofrecía un atractivo especial frente a la remoción de hierro y color. El sistema de "San Antonio", con agua del río Cali, posibilitaba el estudio de cambios bruscos de turbiedad y color durante el período de invierno. El sistema de "Puerto Mallarino", operado con agua del río Cauca, era de interés por su calidad físico-química, durante todo el año. Todos los sistemas tenían importancia desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad bacteriológica.

Las Figuras Nos. 4 y 5 muestran esquemas de algunos de los sistemas piloto de "San Antonio" y "Puerto Mallarino".



12 Fig. No. 4. Ilustración esquemática de la alternativa de FGAS en el sistema piloto de "San Antonio".

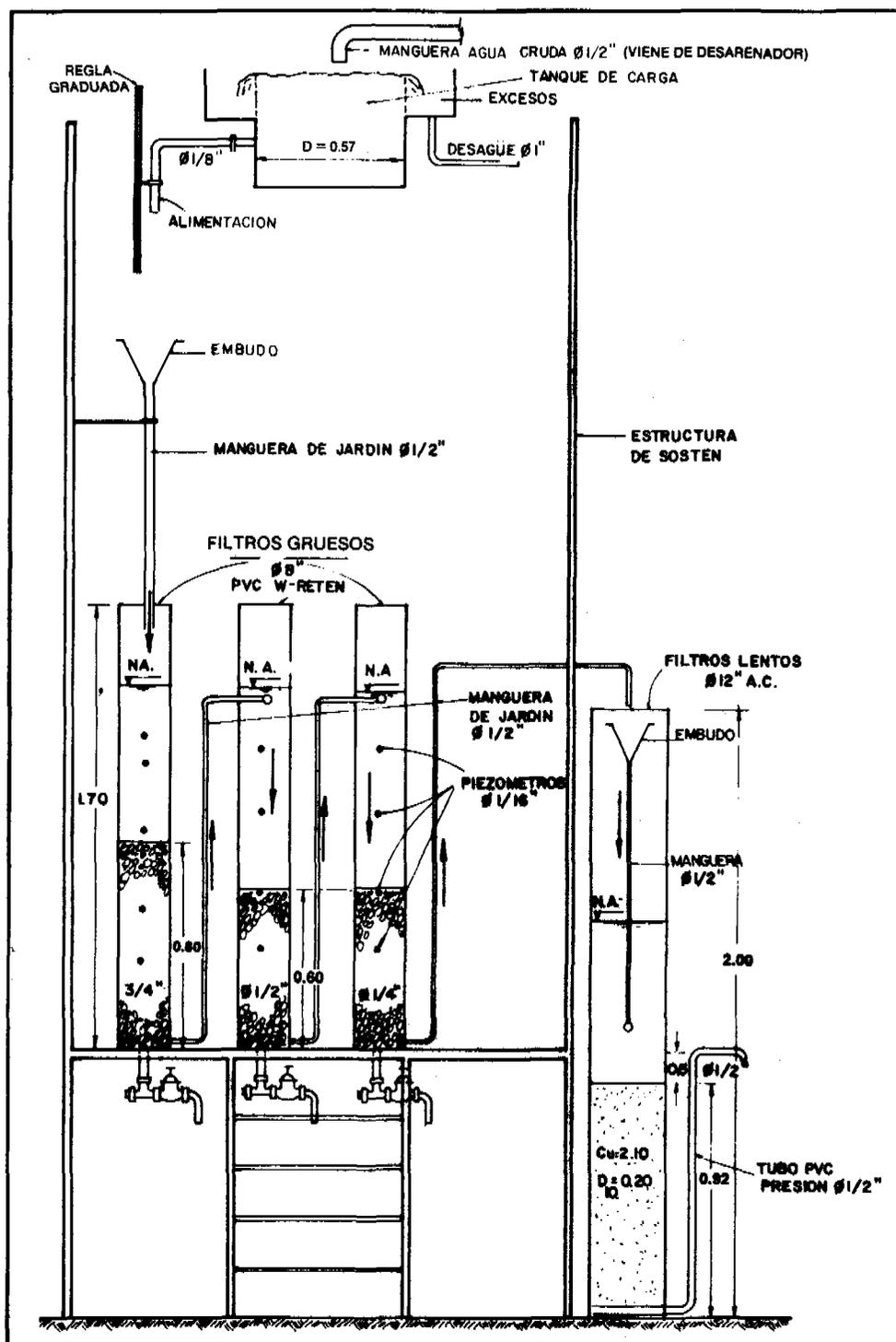


Fig. No. 5. Ilustración esquemática de la alternativa FGDS en el sistema piloto de "Puerto Mallarino".

Los resultados obtenidos muestran en general remociones de turbiedad entre el 75 y el 90 %, color aparente entre el 50 y el 70 %, y remoción de bacterias coliformes totales y coliformes fecales

entre el 70 y el 99 %. En la Figura No. 6 se presenta un resumen que muestra el comportamiento de los parámetros turbiedad y color en las unidades piloto localizadas en "Puerto Mallarino".

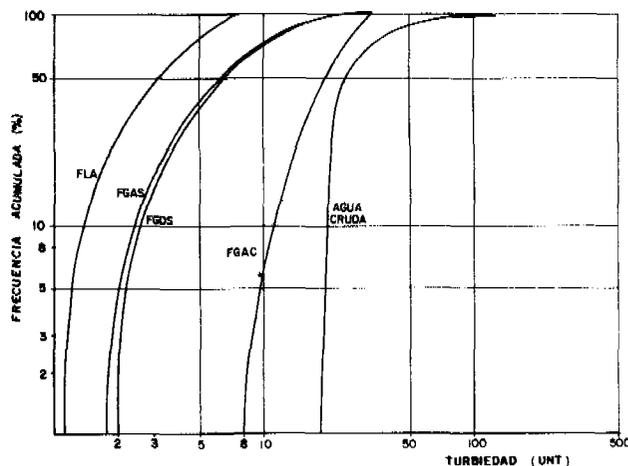
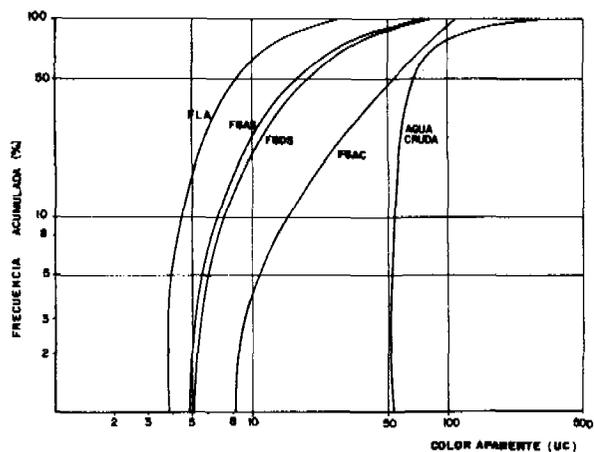


Fig. No. 6. Distribución acumulada de frecuencias de turbiedad y color aparente en diferentes etapas de tratamiento, para diferentes alternativas de filtración gruesa de flujo vertical. Planta piloto "Puerto Mallarino".

En el Cuadro No. 1 se consigna la información relacionada con la remoción de indicadores de cali-

dad bacteriológica en el período septiembre - octubre de 1986, para los sistemas evaluados.

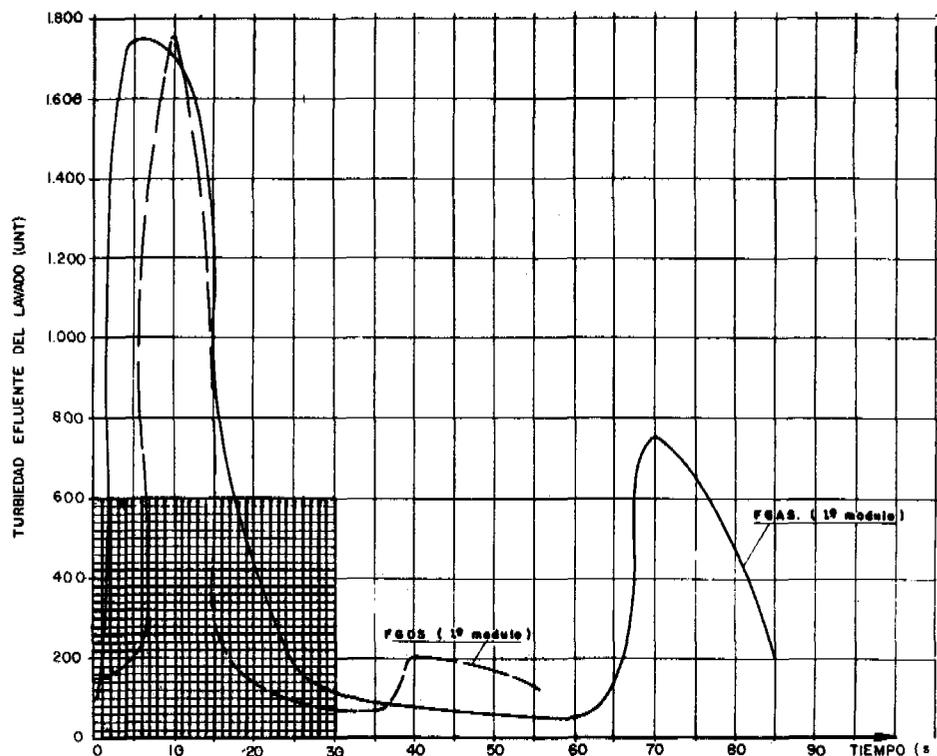
Cuadro No. 1

PLANTAS PILOTO  (Fuente agua cruda)	NMP / 100 ml												Remoción (%)					
	Descendente (serie)				Ascendente (serie)				Ascendente (capas)				Ascendente (serie)		Descendente (serie)		Ascendente (capas)	
	Afluente		Efluente		Afluente		Efluente		Afluente		Efluente		Total		Total		Total	
	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal	Total	Fecal
Puerto Mallarino (Río Cauca)	160000	92000	210	170	92000	35000	540	540	2400	2400	540	94	99.9	99.8	99.4	98.4	77.5	96.0
	160000	92000	540	110	240000	24000	54000	220	240000	24000	3500	49	99.6	99.9	99.9	77.5	99.0	98.5
El Retiro (Río Pance)	7000	4600	220	130	2800	2200	540	540	—	—	—	—	96.8	97.2	80.7	75.4	—	—
	54000	920	1600	130	3500	1100	920	350	—	—	—	—	70.4	85.7	73.7	68.2	—	—
	54000	17000	540	350	54000	35000	2400	2400	—	—	—	—	99.0	97.9	95.5	93.1	—	—
San Antonio (Río Cali)	—	—	—	—	1600	920	240	130	—	—	—	—	—	—	85.0	85.9	—	—
	24000	16000	700	130	—	—	—	—	24000	16000	5400	1100	91.1	99.2	—	—	77.5	93.1
	46000	4600	240	130	—	—	—	—	—	—	—	—	99.5	97.2	—	—	—	—
	16000	3500	240	49	3500	350	540	240	3500	2400	350	240	98.5	98.6	84.6	31.4	90.0	90.0

Cuadro No. 1. Remoción de bacterias coliformes en diferentes alternativas de pretratamiento. Período septiembre - octubre de 1986.

b. Se ensayaron purgas de las unidades para eliminar los sólidos acumulados, hidráulicamente. En la Figura No. 7 se muestra el comportamiento de la turbiedad en el efluente del lavado de las unidades piloto. Teniendo en cuenta que la eficiencia de las

unidades de FGAS resultó comparable a la de FGDS, el AREA ha preferido, preliminarmente, promover la alternativa de flujo ascendente pues ésta presenta un mejor potencial desde el punto de vista del mantenimiento.



*Fig. No. 7. Turbiedad efluente del lavado del primer módulo de un FGAS y un FGDS. Planta piloto de "Puerto Mallarino". Agosto 22 de 1986.*

c. Los resultados de la planta piloto alimentada con agua del río Pance justificaron la construcción del proyecto de demostración de "El Retiro", que se diseñó con filtración gruesa ascendente en capas. En el Aparte 2.3.3 se incluye información sobre el comportamiento de esta unidad la cual funcionó con muy buenos resultados, validando la experiencia piloto y favoreciendo la promoción de la tecnología.

En zona cafetera están operando dos plantas con filtración gruesa de flujo ascendente en serie, "La Marina" y "Salónica".

## 2.2.4 Conclusiones

- La filtración gruesa de flujo vertical presenta un buen potencial como alternativa de pretratamiento.
- Las alternativas de flujo descendente y ascendente en serie presentaron eficiencias comparables. La selección final dependerá básicamente de conside-

raciones de operación y mantenimiento. De manera preliminar se otorga, desde este punto de vista, un mayor potencial a las alternativas de flujo ascendente.

- La alternativa de flujo ascendente en capas se recomienda para aguas de regular calidad (turbiedad inferior a 50 UNT) y turbiedades altas pero de corta duración (menos de un día). La alternativa en serie permite proyectarse con una mayor capacidad de almacenamiento de sólidos para aguas de mala calidad. Se requiere investigación adicional para mejorar estos criterios.
- El retrolavado hidráulico mostró su potencial como herramienta operacional para simplificar el mantenimiento. En la medida en que se entienda y se optimice este proceso, de tal manera que pueda ejecutarse con alta frecuencia, el tamaño de las unidades de pretratamiento podrá reducirse, con un gran impacto para el futuro de la tecnología frente a las aguas con alto contenido de sólidos.

- e. Es importante evitar obstrucciones del sistema de drenaje, lo cual requiere un estudio adicional de diferentes alternativas para disminuir la turbiedad del agua cruda. En este sentido las captaciones dinámicas de lecho filtrante promovidas ahora por el AREA, en el Valle del Cauca, aparecen como una buena alternativa.
- f. El pretratamiento no debe considerarse simplemente como estructuras de protección a las unidades de FLA, útiles para reducir la turbiedad y el contenido de sólidos. Los resultados obtenidos en este estudio tanto a escala piloto como en los primeros prototipos, demuestran que debe considerarse como parte integral del tratamiento, especialmente por su impacto en la calidad microbiológica.
- g. El pretratamiento en sí merece considerable investigación adicional, no sólo en relación con la tecnología de FLA sino también con otras modalidades de tratamiento, como por ejemplo la desinfección o la filtración directa.
- h. El pretratamiento con filtración gruesa merece ser considerado en relación con otras actividades de la ingeniería tales como la recarga de aguas subterráneas, el riego y la acuicultura.

## 2.3 Evaluación de sistemas en operación

El reconocimiento de las plantas existentes y la evaluación de los sistemas de tratamiento promovidos por el AREA, se complementan con el desarrollo del recurso humano al interior del grupo de trabajo (ver Aparte 2.1.1) y hacia otras instituciones (ver Apartes 2.1.3 a 2.1.7).

### 2.3.1 Visitas técnicas. Reconocimiento de plantas existentes

En actividades preliminares al Convenio se efectuaron visitas técnicas a varias plantas de FLA en la región y se discutieron sus limitaciones con el gerente del Proyecto en el IRC. Después de iniciado el Convenio, la Dirección del Proyecto por UNIVALLE fue invitada en 1986 a Europa para actividades que incluyeron visitas a sistemas de tratamiento con unidades FLA. Estas experiencias han sido compartidas por intermedio de las actividades descritas en el Aparte 2.1. Ahora, profesionales de diferentes organizaciones visitan y discuten los proyectos de demostración promovidos por el AREA en el Valle del Cauca.

### 2.3.2 Evaluación de sistemas en operación. Visión global

El AREA ha proyectado veinte sistemas de tratamiento con unidades de FLA en mutua colaboración con diferentes instituciones del valle geográfico del río Cauca. Ocho de ellas se encuentran en operación y las otras doce lo estarán en el transcurso de este año. A continuación se presentan consideraciones generales sobre los sistemas en funcionamiento.

- a. "Chorro de Plata". Primera experiencia; con una capacidad de 4.0 l/s. Estructura alta (2.9 m) y obra civil costosa; sin facilidades para drenaje del sobrenadante; estructura de salida compleja y de difícil acceso para mantenimiento. El efluente es bombeado pero las unidades de FLA trabajan continuamente; la planta está protegida de cambios bruscos de turbiedad mediante una captación dinámica de lecho filtrante, ubicada en una derivación de la fuente principal.

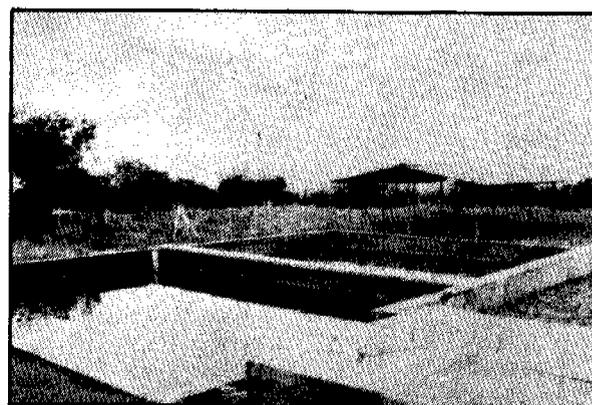


Fig. No. 8. "La Marina". Arriba, las unidades de filtración gruesa ascendente en serie; abajo, las unidades de filtración lenta en arena.

La fuente presenta contaminación microbiológica y períodos de alta turbiedad pero de corta duración. El efluente de la planta es de buena calidad.

- b. *"La Marina"*. Primera planta de FLA construida en la región cafetera colombiana; con una capacidad de 7.0 l/s. Las unidades de FLA están precedidas por unidades de pretratamiento con filtración gruesa ascendente en serie. Ver Figura No. 8.

En las unidades de FLA se presentaron problemas porque la arena fue instalada sin lavar y el diseño hidráulico del drenaje de las unidades de pretratamiento fue deficiente y limitaba el impacto de los cierres rápidos producidos por la válvula de descarga en el retrolavado. Estos dos problemas ya fueron superados. Ver Figura No. 9.



Fig. No. 9. Válvula de apertura rápida, utilizada en el retrolavado de las unidades de pretratamiento (filtración gruesa ascendente). "La Marina" - Valle del Cauca.

La fuente presenta problemas de calidad microbiológica, color y períodos prolongados de turbiedad alta. Los cambios hechos en la planta y su distancia a la Universidad han limitado una mejor evaluación con los recursos disponibles. Sin embargo, la comunidad reconoce el mejoramiento de la calidad del agua y los análisis realizados así lo confirman. Para controlar el crecimiento de algas en los filtros gruesos se aumentó la capa de grava por encima del

nivel del agua, atendiendo recomendaciones del IRC. Las algas en las unidades de FLA se eliminan periódicamente sin interferir con la operación. Los niveles de oxígeno disuelto fueron medidos en el verano de 1987, durante 24 horas. No se identificaron problemas en este parámetro.

- c. *"La Sirena"*. Unidades de FLA sin pretratamiento con una capacidad de 7.5 l/s; sirve a una comunidad urbano-marginal de ladera de Cali. La calidad del agua en la fuente, en invierno, desmejora significativamente durante cortos períodos. Se proyecta un pretratamiento de filtración gruesa ascendente en capas. Ha sido la única planta cuya construcción fue coordinada directamente por el AREA.

En este proyecto la experiencia con la participación comunitaria ha sido especialmente importante, ya que permitió identificar plenamente la necesidad de fortalecer las actividades de transferencia con la intervención de recurso humano de las ciencias sociales.

La planta produce agua de buena calidad pero su efecto es limitado por las deficiencias del sistema de distribución. Un nuevo sistema de distribución fue proyectado en coordinación con la comunidad y será construido por el Municipio de Cali en este año.

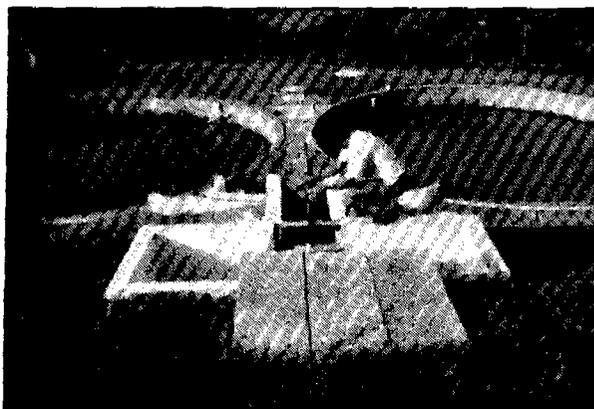


Fig. No. 10. "La Sirena" - Cali. Unidades de filtración lenta en arena de forma cilíndrica y mampostería estructural.

- d. *"Colombo - Británico"*. Optimización de una planta convencional. Proyecto semejante a "El Retiro", del que se informa en el Aparte 2.3.3. La planta trata 1.0 l/s y abastece agua de muy buena calidad a 1.200 personas en un colegio del sur de la ciudad de Cali.

- e. "Centro Integrado de Desarrollo Rural", CIDER. Segundo proyecto en la zona cafetera del Valle. Unidades de FLA precedidas de filtración gruesa de flujo horizontal. Tiene un gran potencial como proyecto de demostración pues abastece un centro de capacitación del sector cafetero.

La fuente presenta problemas de calidad microbiológica y valores muy altos de turbiedad y color, en el caso de este último parámetro supera las 1.000 unidades medidas en la escala de platino-cobalto. Después de 1.5 meses de entrar en operación, el agua sólo presentaba problemas de color, sin embargo la eficiencia promedio de remoción en este parámetro ya superaba el 82 %.

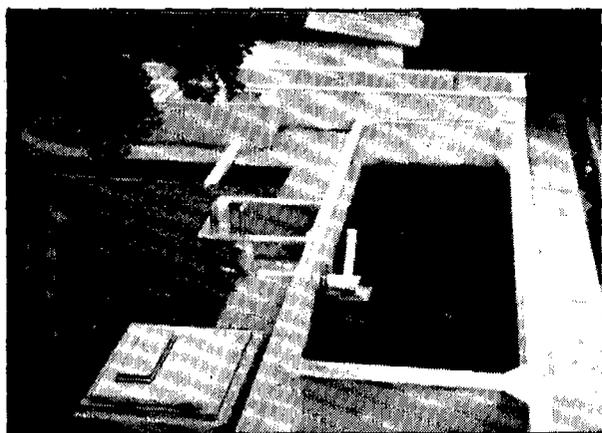


Fig. No. 11. Planta de tratamiento Colegio "Colombo-Británico". Cali - Colombia.

- f. "Villarrica". Planta piloto de 0.2 l/s que trata agua subterránea. Tiene una unidad de FLA precedida de filtros gruesos de flujo ascendente y de bandejas de aeración. La fuente de abastecimiento presenta valores altos de hierro y manganeso. Los resultados son muy alentadores y la tecnología de FLA demuestra ser una buena alternativa para tratar el agua subterránea del norte del departamento del Cauca, donde viven comunidades de muy bajos recursos.
- g. "Salónica". Tercer proyecto construido en zona cafetera. Unidades de FLA precedidas de filtración gruesa ascendente en serie. La planta está en la etapa de puesta en marcha y se ha iniciado capacitación tanto del personal que operará el sistema como de la Junta Administradora del Acueducto. La capacidad de la planta es de 9.5 l/s.



Fig. No. 12. Aspecto parcial de la planta de tratamiento en "Villarrica". Departamento del Cauca - Colombia.

### 2.3.3 Evaluación de sistemas en operación. "El Retiro". Visión específica

La ejecución de este proyecto fue motivada por los resultados obtenidos en la planta piloto instalada en la Parcelación "El Retiro" para el estudio de sistemas de pretratamiento (ver Aparte 2.2). Este Proyecto consistió en la optimización de una planta convencional con deficiencias en el diseño, la operación y el mantenimiento y con grandes desperdicios en el sistema. Se trataban 30 l/s, mientras que ahora se tratan 9.5 l/s. Las unidades de FLA están precedidas por tres unidades de pretratamiento en paralelo, de filtración gruesa en capas con flujo ascendente; el drenaje de los filtros gruesos se realiza mediante múltiples diseñados por el AREA, y el de las unidades de FLA con tubería plástica corrugada y perforada. Se introdujo el uso de la tubería móvil para rebose y drenaje en las unidades de FLA, y de las válvulas de apertura rápida para el retrolavado de las unidades de pretratamiento. La desinfección terminal se efectúa con solución de hipoclorito de sodio utilizando un dosificador de cabeza constante.

La fuente presenta problemas de contaminación microbiológica, hierro, color y turbiedades altas de corta duración, sin embargo la planta produce agua de excelente calidad. Por su cercanía a UNIVALLE, pudo ser evaluada por el AREA, a pesar de las limitaciones de presupuesto. Seguidamente se presenta un resumen de esta evaluación desde el punto de vista hidráulico, físico-químico, bacteriológico, económico y de operación de esta planta. La Figura No. 14 muestra un esquema general de la planta, mientras que el Cuadro No. 2 presenta los caudales de operación durante el primer período de evaluación.

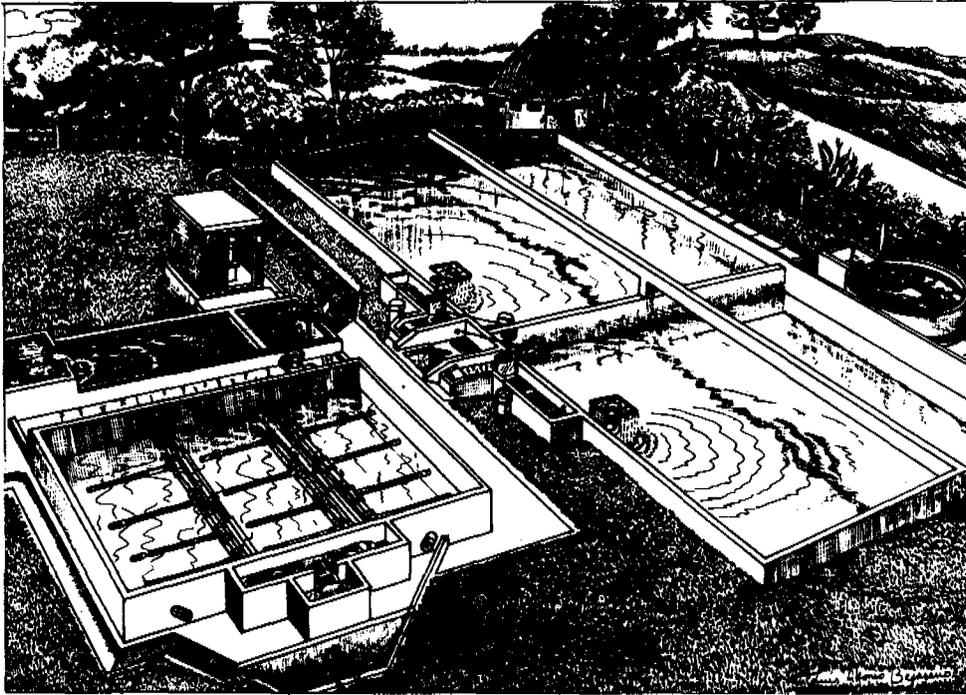


Fig. No. 13. "El Retiro". A la izquierda, las unidades de filtración gruesa ascendente en capas trabajando en paralelo y, a la derecha, las dos unidades de filtración lenta en arena.

La limpieza de las unidades de pretratamiento se realiza cuando la pérdida de energía hidráulica alcanza los 30 cm. Esto ocurre en promedio cada 7 días. Entonces se procede a cerrar el efluente y se deja elevar el nivel de agua en las unidades hasta que el borde libre sea de sólo 0.05 m. Se efectúan las purgas hidráulicas con cierres periódicos en la válvula de drenaje durante 15 minutos aproximadamente. Se llenan las unidades

nuevamente con el flujo ascendente de manera normal, se rastrilla la capa superficial con intensidad y el sobrenadante es eliminado quitando los tapones a los drenes situados a la altura de los lechos. Después la unidad es puesta nuevamente en operación. Este conjunto de actividades se realiza en un período de 1.5 horas.

PUNTOS DE MUESTREO DEL AGUA

- 1 CRUDA
- 2 CANAL DE ACCESO
- 3 PRETRATADA Nº 1
- 4 PRETRATADA Nº 2
- 5 PRETRATADA Nº 3
- 6 FILTRADA Nº 1
- 7 FILTRADA Nº 2
- 8 ALMACENADA
- 9 ALMACENADA

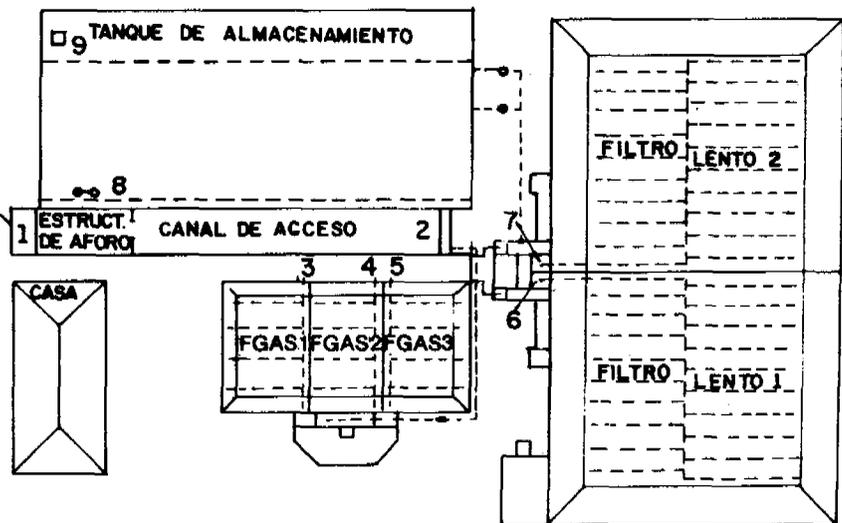


Fig. No. 14. "El Retiro". Esquema general de la planta y ubicación de los puntos de muestreo.

Cuadro No. 2

Estructura	Caudal (l/s)		Velocidad (m/h)			Promedio de sobrecarga respecto al caudal de diseño (%)
	Diseño	Promedio observado	Mínimo	Máximo	Promedio	
Filtros Gruesos	9.10	11.94	0.82	1.20	0.97	31.2
Filtro lento No. 1	4.55	5.43	0.08	0.26	0.18	19.3
Filtros lento No. 2	4.55	5.24	0.08	0.24	0.17	15.2

Cuadro No. 2. "El Retiro". Caudales de operación en las unidades de tratamiento. Abril - junio de 1987.

La Figura No. 15 presenta las curvas en las que se muestra la pérdida de energía hidráulica en las unidades de pretratamiento.

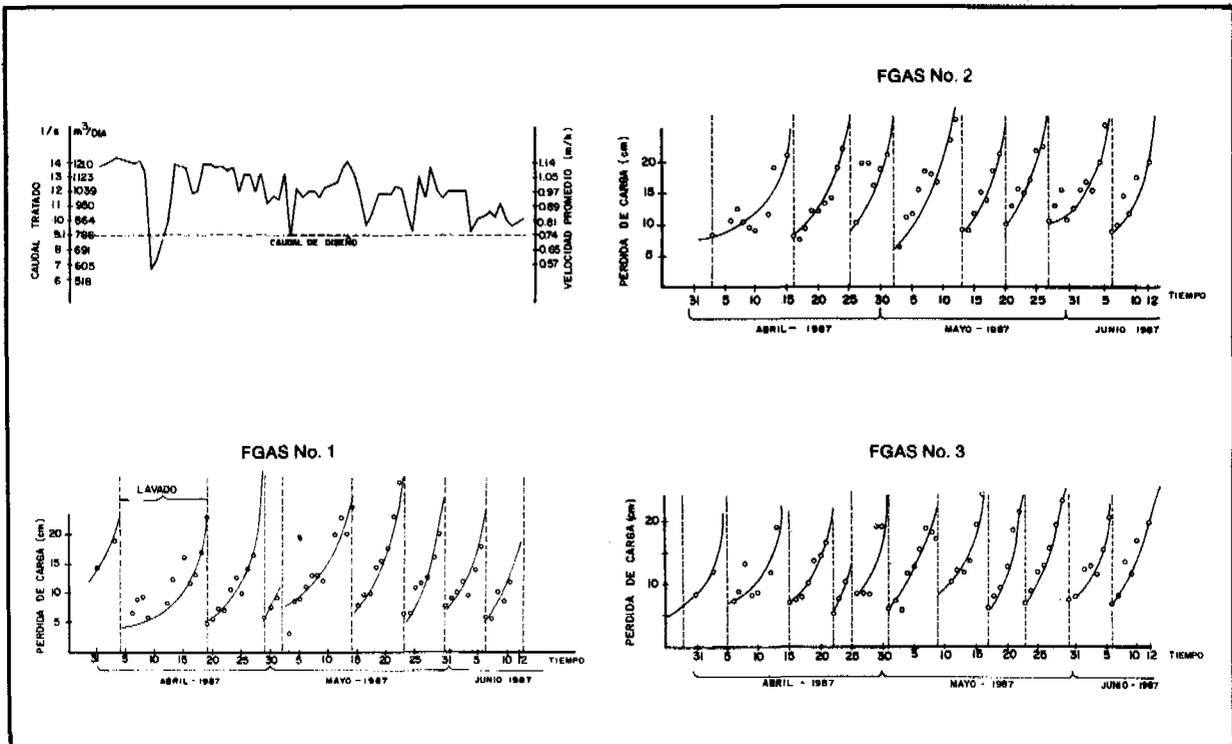


Fig. No. 15. "El Retiro". Pérdida de energía hidráulica en las unidades de pretratamiento. Abril-junio de 1987.

La Figura No. 16 muestra el comportamiento hidráulico de cada una de las unidades de FLA.

Cada unidad de FLA, con 145 m<sup>2</sup> de área superficial, sale de operación durante 6 horas aproximadamente,

en cada raspado de la biomembrana. Esto corresponde a dos horas para el drenaje del sobrenadante, tres horas para el raspado y la nivelación de la arena y una hora para la recuperación y la puesta en marcha.

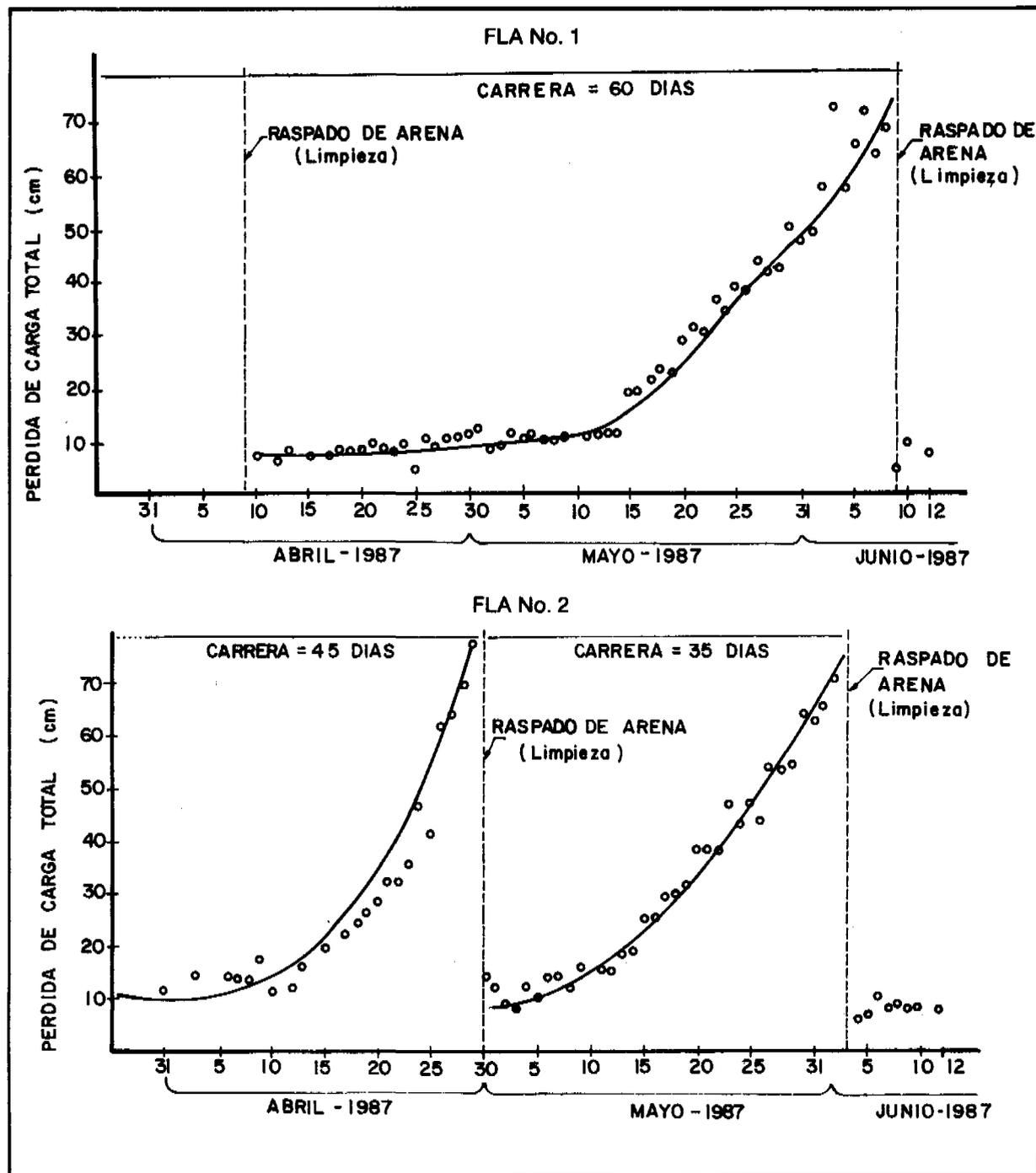


Fig. No. 16. "El Retiro". Pérdida de energía hidráulica en las unidades de filtración lenta. Abril-junio de 1987.

Estas actividades ocupan cuatro obreros: dos raspando (cada uno con una pala y dos baldes), uno transportando los baldes con la arena fuera del lecho y otro llevándolos hasta la cámara del lavado. La arena removida es del orden de 2.9 m<sup>3</sup>.

Los resultados de la evaluación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos, llevados a cabo durante un período aproximado de tres meses, se presentan en forma resumida en los Cuadros Nos. 3, 4, 5, 6 y 7 y en las Figuras Nos. 17 y 18.

**Cuadro No. 3**

Clase de agua	Turbiedad (UNT)			% de observaciones menor o igual a:	
	Mínimo	Promedio	Máximo	Admisible < 5 UNT	Desable < 1 UNT
Cruda	2.1	12.38	140.0	47.9	0.0
Decantada	1.6	7.00	65.8	49.3	0.0
Pretratada	1.0	3.83	16.0	98.4	0.0
Filtrada	0.45	0.01	2.5	100.0	62.5
Almacenada	0.62	1.21	2.4	100.0	49.1
Red de distribución	0.64	1.31	4.0	100.0	57.1

*Cuadro No. 3. "El Retiro". Valores de remoción de turbiedad, observados durante el período abril-junio de 1987 y porcentaje de resultados menores o iguales a las normas de calidad para agua potable.*

**Cuadro No. 4**

Clase de agua	Color Real (Unidades de Platino Cobalto)		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Cruda	9.0	34.0	250.0
Decantada	6.0	28.7	115.0
Pretratada	2.5	18.7	70.0
Filtrada	0.0	8.1	30.0
Almacenada	0.0	6.3	19.0
Red de distribución	4.0	6.9	15.0

*Cuadro No. 4. "El Retiro". Valores de color real el efluente de las unidades de tratamiento. Período abril-junio de 1987.*

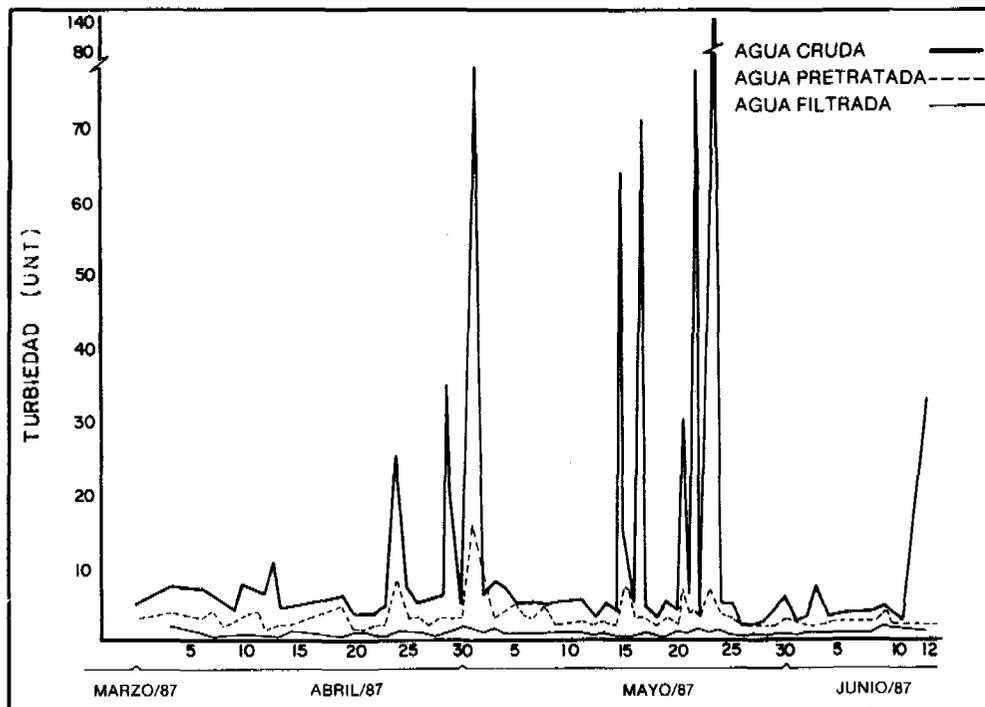


Fig. No. 17. "El Retiro". Remoción de turbiedad durante el período abril - junio de 1987. Los valores de agua pretratada y filtrada corresponden al promedio en cada fase de tratamiento.

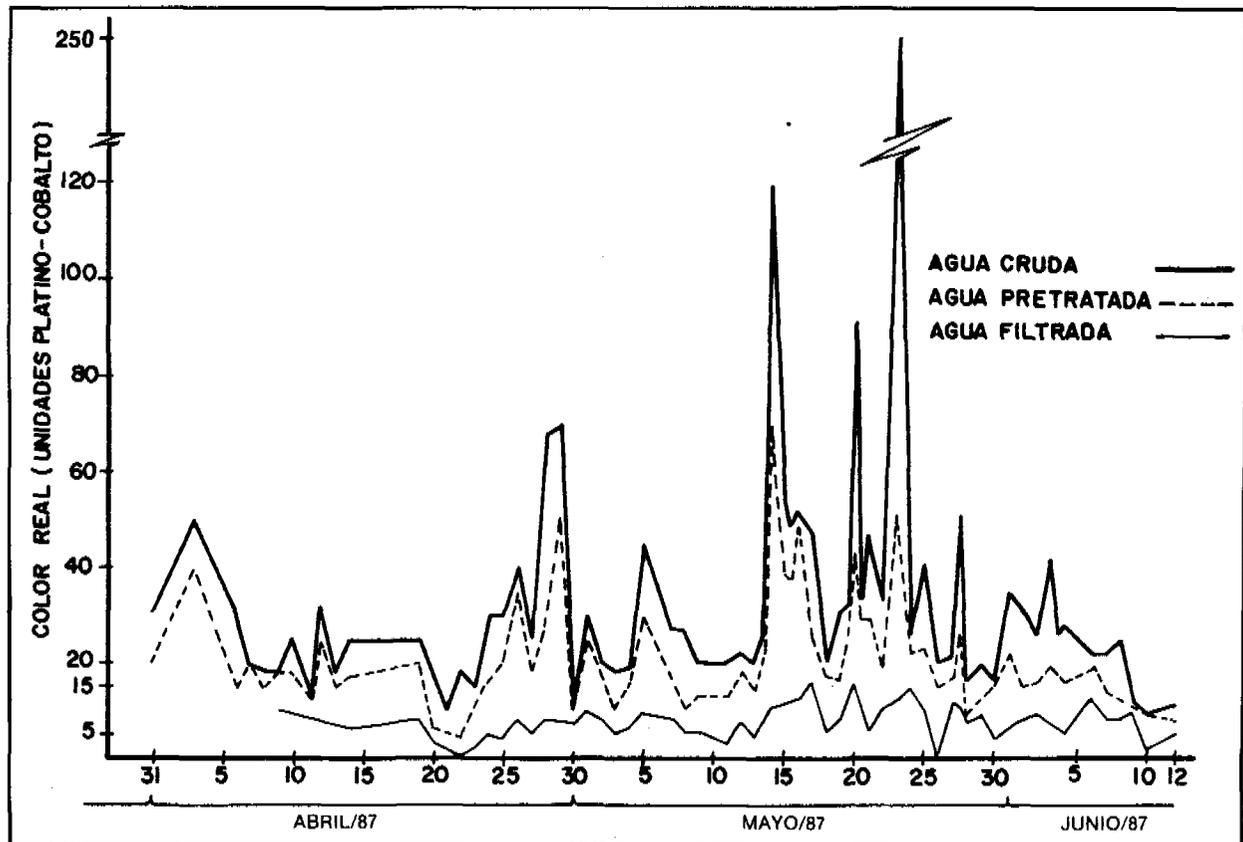


Fig. No. 18. "El Retiro". Remoción de color real en las unidades de tratamiento durante el período abril-junio de 1987. Los valores para el agua pretratada y filtrada corresponden al promedio en cada fase de tratamiento.

**Cuadro No. 5**

Clase de agua	Hierro total (mg/l)		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Cruda	0.24	0.680	1.40
Pretratada	0.12	0.260	0.40
Filtrada	0.08	0.148	0.38
Desinfectada	0.00	0.094	0.26

Norma Nacional Admisible para agua potable  
Ministerio de Salud = 0.30 mg/l hierro total

*Cuadro No. 5. "El Retiro". Remoción de hierro total en las unidades de tratamiento. Período abril-junio de 1987.*

**Cuadro No. 6**

Clase de agua	Valores de pH		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Cruda	7.0	7.34	8.0
Decantada	7.2	7.42	8.2
Pretratada	7.1	7.35	8.2
Filtrada	7.0	7.32	8.7
Almacenada	7.2	7.40	7.7
Red de distribución	7.2	7.83	8.7

*Cuadro No. 6. "El Retiro". Variaciones de pH en las unidades de tratamiento. Período abril-junio de 1987.*

**Cuadro No. 7**

Fecha	Agua cruda C. Totales C. Fecales NMP/100 ml	Agua Pre- tratada C. Totales C. Fecales NMP/100 ml	Agua filtrada		Clorada	
			FLA No. 1	FLA No. 2	Almace- nam.	Red
31-III-87	35000	28000	—	240	—	0
	9200	350	—	49	—	0
7-IV-87	13000	3500	5	—	0	0
	1600	180	2	—	0	0
21-IV-87	5400	2400	4	4	0	0
	5400	2400	4	4	0	0
28-IV-87	54000	2200	2	11	0	—
	2800	940	2	2	0	—
5-V-87	35000	1400	23	70	8	—
	9200	700	8	46	2	—
12-V-87	16000	1400	8	8	0	—
	2200	170	5	8	0	—
19-V-87	92000	16000	5	8	0	0
	92000	2200	5	8	0	0
2-VI-87	16000	5400	2	5	0	0
	5400	3500	2	5	0	0
8-VI-87	24000	16000	—	110	0	—
	16000	5400	—	33	0	—
Promedios	32267	5678	7	57	0	0
	15978	1680	4	19	0	0
Remoción (%)		82.4	99.9	99.8	100	100
		89.4	99.9	99.9	100	100

*Cuadro No. 7. "El Retiro". Remoción de coliformes totales y fecales, indicadores de calidad bacteriológica. Período abril-junio de 1987.*

Los costos de inversión para convertir la planta existente en una planta de FLA fueron de US \$ 10.000 aproximadamente. Como se puede ver en el Cuadro No. 8, los costos mensuales de operación se redujeron

para este caso particular en un 80% aproximadamente, lo cual permitió recuperar la inversión en menos de un año.

**Cuadro No. 8**

ITEM	Tipo de planta	Planta con Procesos Convencionales				Planta de Filtración Lenta en Arena		
		Unidad	Cantidad	Valor (Col. \$)	Valor (US \$)	Cantidad	Valor (Col. \$)	Valor (US \$)
1. REACTIVOS QUIMICOS								
A. Sulfato de Aluminio (10% Alumina)		Kg	3000	88110	373.35	0	0	0
B. Oxido de Calcio (Cal viva 60% pureza)		Kg	2000	18000	76.27	0	0	0
C. Desinfectante								
— Hipoclorito de Calcio (Solución al 10%)		Kg	900	45500	192.80	0	0	0
— Hipoclorito de Sodio		Kg	638	37710	159.79	200	11821	50.09
SUB-TOTAL ITEM 1				189320	802.21		11821	50.09
2. ENERGIA				5250	22.25		0	0
3. OPERARIOS				38999	162.25		26000	110.17
4. ADMINISTRACION Y GASTOS IMPREVISTOS				58393	247.43		18910	80.13
TOTAL COSTOS DE OPERACION				291965	1237.14		56732	240.39

*Cuadro No. 8 "El Retiro". Comparación de costos mensuales de operación entre la antigua planta convencional y la actual planta con tecnología FLA. Junio de 1987.*

## 2.4 Consideraciones sobre las experiencias de diseño

Después de estudiar la tecnología en su fundamento básico y evaluar tanto a nivel de planta piloto como de prototipo, el AREA presentó desarrollos en aspectos de diseño y construcción, con la finalidad de generar información sobre una alternativa de tratamiento tecnológicamente factible para nuestro medio.

Los principales aspectos considerados estuvieron orientados a:

- Reducción de los costos directos en las obras civiles.
- Aprovechamiento de los materiales y de la mano de obra local.
- Simplificación de las actividades de operación y mantenimiento.
- Adaptación de los proyectos a nuestras condiciones climáticas, socio-económicas, culturales, y a las características topográficas, de calidad de los suelos, hidráulicas y de calidad de agua.

Las experiencias de diseño del grupo tienen como marco central:

- a. El planteamiento de alternativas de diseño hidráulico y estructural de acuerdo a condiciones de carga, forma geométrica y utilización de diversos tipos de materiales en la construcción de las plantas de tratamiento.
- b. La generación de información sobre cantidades de obra y presupuesto que permitan obtener un modelo de costos.

### 2.4.1 Objetivos específicos

El subproyecto sobre experiencias de diseño, permitió:

- a. Estudiar diferentes formas geométricas para la construcción de módulos de filtración empleando materiales locales tanto en la estructura como en los medios filtrantes y de soporte.
- b. Disminuir la altura total de los módulos de filtración utilizando tubería de drenaje PVC corrugada en el sistema de recolección de agua filtrada.
- c. Diseñar diferentes alternativas para las unidades de entrada y salida de la planta así como de los módulos de filtración propiamente dichos.

- d. Producir material gráfico ambientado, con el propósito de ilustrar con mayor detalle los diseños hidráulicos y estructurales de las unidades de tratamiento.

### 2.4.2 Método

Diversas acciones sirvieron de base para el desarrollo del subproyecto:

- a. La evaluación y seguimiento de plantas piloto y prototipos, considerando aspectos de diseño, operación y mantenimiento.
- b. La presentación y discusión de proyectos dentro del grupo asesor del AREA y en diferentes talleres nacionales.
- c. La asesoría prestada por el IRC a proyectos y prototipos.

Algunas experiencias concretas se derivan del seguimiento realizado a los prototipos de "Chorro de Plata", "El Retiro", "La Marina" y "La Sirena", donde las calidades de agua, las formas geométricas y los tipos de materiales empleados son diferentes. En las Figuras Nos. 19, 20 y 21 se muestran diferentes modelos de plantas de tratamiento.

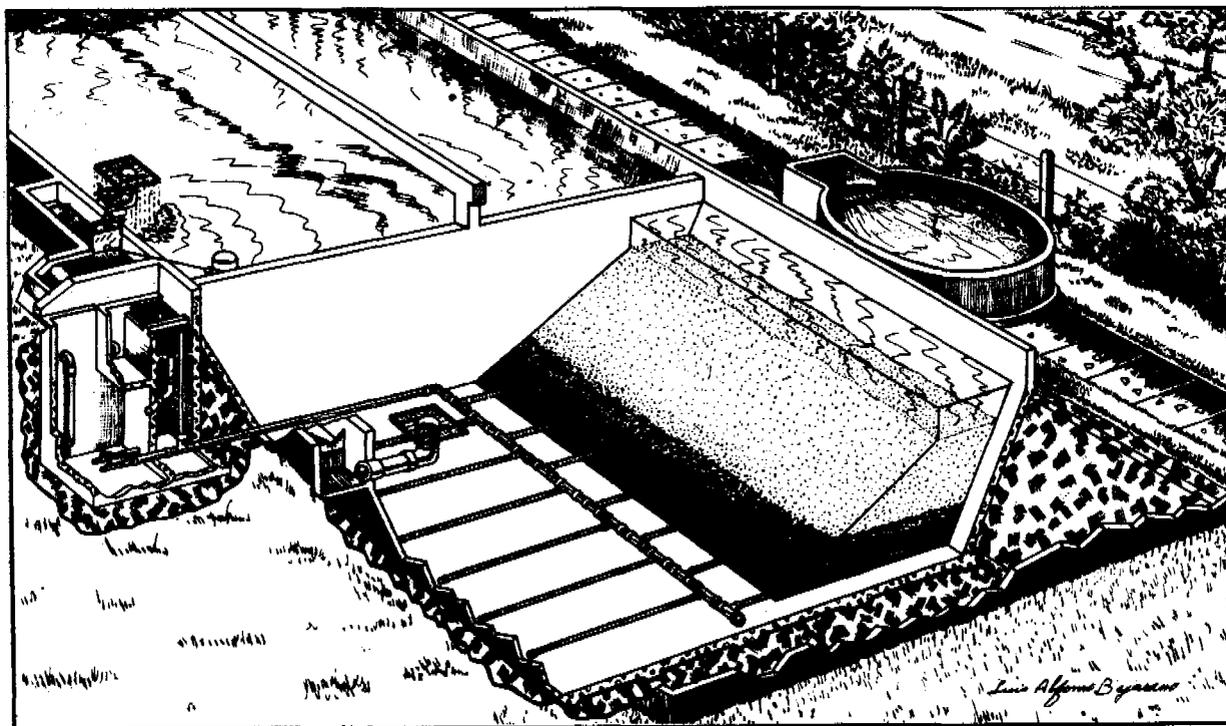
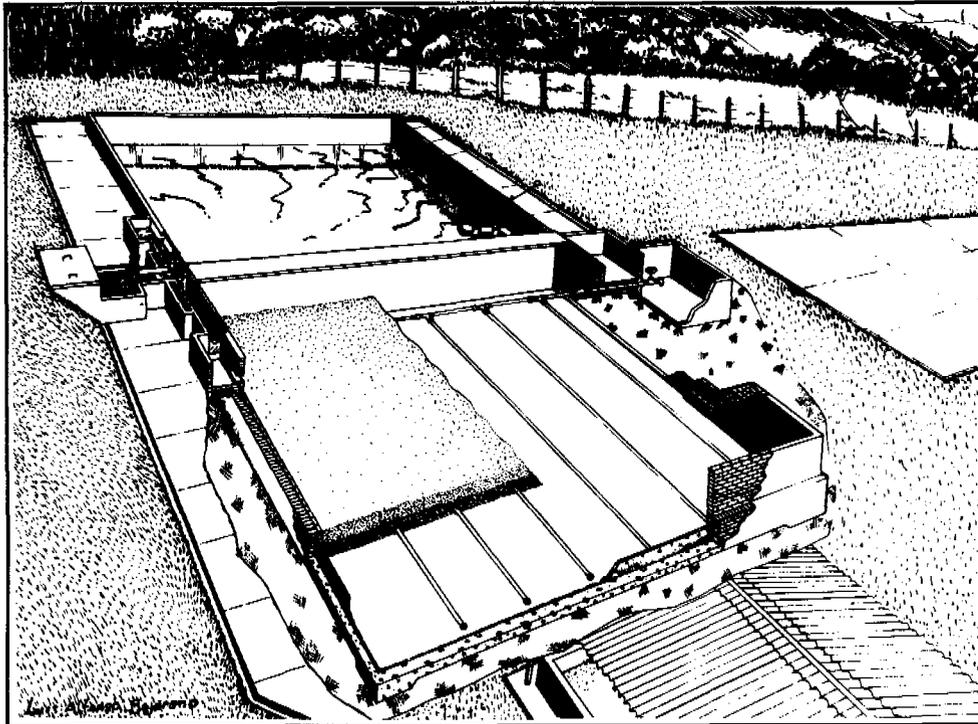
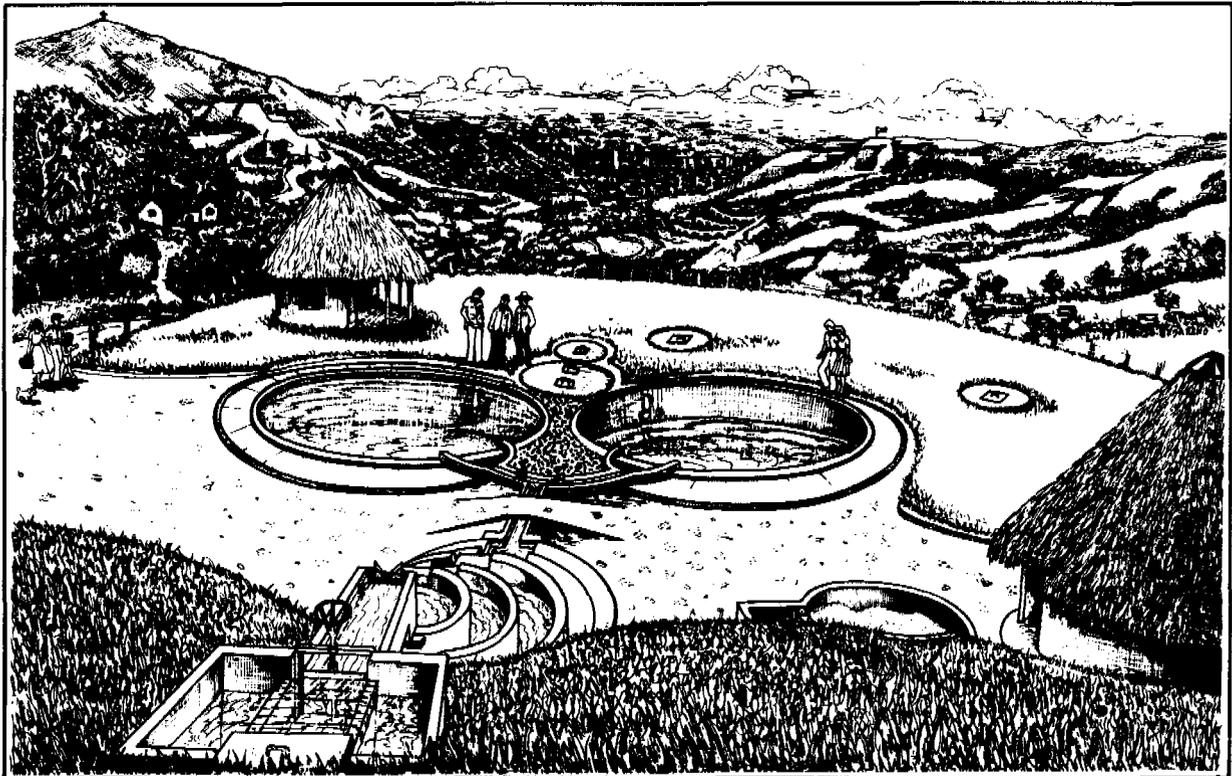


Fig. No. 19. Adaptación de una planta de tratamiento convencional a filtración lenta en arena. Módulos en forma de pirámide truncada. "El Retiro", Cali - Colombia.



*Fig. No. 20. Planta de tratamiento con tecnología FLA, en la zona cafetera. Módulos prismáticos construidos en mampostería estructural. "La Marina", Valle del Cauca-Colombia.*



*Fig. No. 21. Planta de FLA para una comunidad urbano-marginal. Módulos de forma cilíndrica construidos en mampostería estructural. "La Sirena". Cali - Colombia.*

### 2.4.3 Análisis de Resultados

a. La forma física de las estructuras no está condicionada por el diseño hidráulico. Puede verse influida por aspectos topográficos, por aprovechamiento de las características de calidad del suelo en el sitio y por la utilización de materiales locales, entre otras.

Diferentes tipos de materiales pueden emplearse en la construcción de las estructuras: concreto reforzado, concreto ciclópeo, mampostería, talud revestido y ferrocemento. El material a utilizar está condicionado entre otros factores por el tamaño de la estructura, la disponibilidad de recursos económicos, el suministro local y la estanqueidad del material en zonas donde el nivel freático es alto.

Desde el punto de vista del diseño, las estructuras para filtros lentos no necesitan alta capacidad portante, pueden cimentarse sobre suelos con capacidad portante entre mediana y baja, cuidando de no proyectarlos sobre terrenos expansivos, ya que se pueden originar agrietamientos. En casos inevitables debe realizarse previamente una adecuación de la cimentación.

Recomendaciones constructivas tales como rugosidad en las paredes verticales internas de los filtros, pruebas de estanqueidad, y buen curado de las estructuras, deben ser tenidas en cuenta. Otro aspecto de interés lo constituye el sistema de drenaje exterior a la estructura, el cual debe interceptar flujos de agua subsuperficiales provenientes de zonas adyacentes.

El estudio, utilización y aprovechamiento de arenas locales permite disminuir considerablemente los costos directos durante la fase de construcción. Este factor puede convertirse en un elemento crítico en la implantación de la tecnología, bien sea por desconocimiento de los parámetros de diseño, por inadecuada interpretación de la literatura técnica, por mala selección y mantenimiento o por sus costos de adquisición.

Una adecuada mezcla de arenas, además de disminuir los costos de adquisición, repercute significativamente en la eficiencia del proceso.

b. La altura de los filtros es un parámetro que incide de manera importante dentro de los costos directos de construcción. El AREA, a través de sus proyectos, ha logrado disminuirla desde un valor inicial de 2.90 m en el proyecto de "Chorro de Plata", hasta

2.15 m en diseños posteriores como los de "La Sirena" y "La Marina".

El estudio del comportamiento hidráulico de múltiples, desarrollado por el AREA, permitió proponer el uso de tubería de drenaje PVC corrugada para el sistema de drenaje en los filtros, lo cual implicó disminuir el espesor de la capa de grava de soporte, modificar las especificaciones técnicas y por consiguiente rebajar la altura total.

Otros factores como la carga de agua sobrenadante, el espesor del medio filtrante y el valor del borde libre se tuvieron en cuenta para la disminución de la altura.

c. Las Figuras Nos. 22, 23 y 24 ilustran las características de las estructuras de entrada y salida de uno de los prototipos diseñados por el AREA.

La Figura No. 22, presenta aspectos generales del proyecto "La Sirena", en ella se puede observar:

- Llegada de agua cruda en la tubería de aducción.
- Paso directo de agua cruda, que permite el llenado inicial ascendente de los filtros y el suministro de agua para lavado de arena después de un raspado.
- Elementos para disipación de energía, control de flujo, vertimiento de excesos, canal uniformizador de flujo y aforadores visual e hidráulico.
- Cascadas para aeración, necesarias solamente cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua cruda son bajos, o cuando se requiere reducir olores y sabores.
- Canal distribuidor, compuertas de regulación, aforadores, y estructura de entrada al filtro lento propiamente dicho.

Un aspecto crítico en el funcionamiento del sistema, con nivel variable y flujo descendente, lo constituye la entrada de agua cruda al módulo de filtración, principalmente cuando éste presenta poca pérdida de carga en los comienzos de su carrera. El chorro de agua cae directamente sobre el medio filtrante, erosionándolo e impidiendo la adecuada formación de la biomembrana en esta zona. Esta situación deteriora la calidad del agua tratada.

Una alternativa de solución al problema planteado, donde se disipa externamente la energía de posición, se ilustra en el corte C-C de la Figura No. 23.

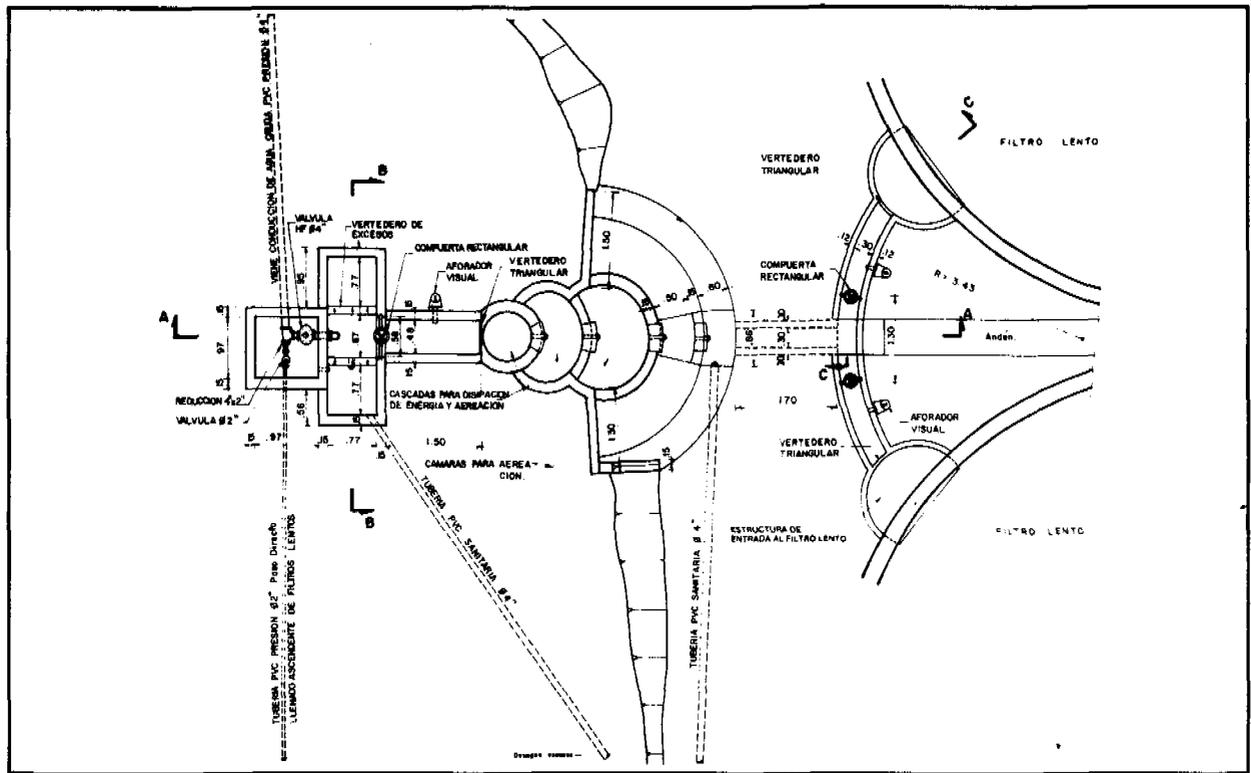


Fig. No. 22. Estructura de entrada y control de flujo. Planta de tratamiento "La Sirena", Cali - Colombia.

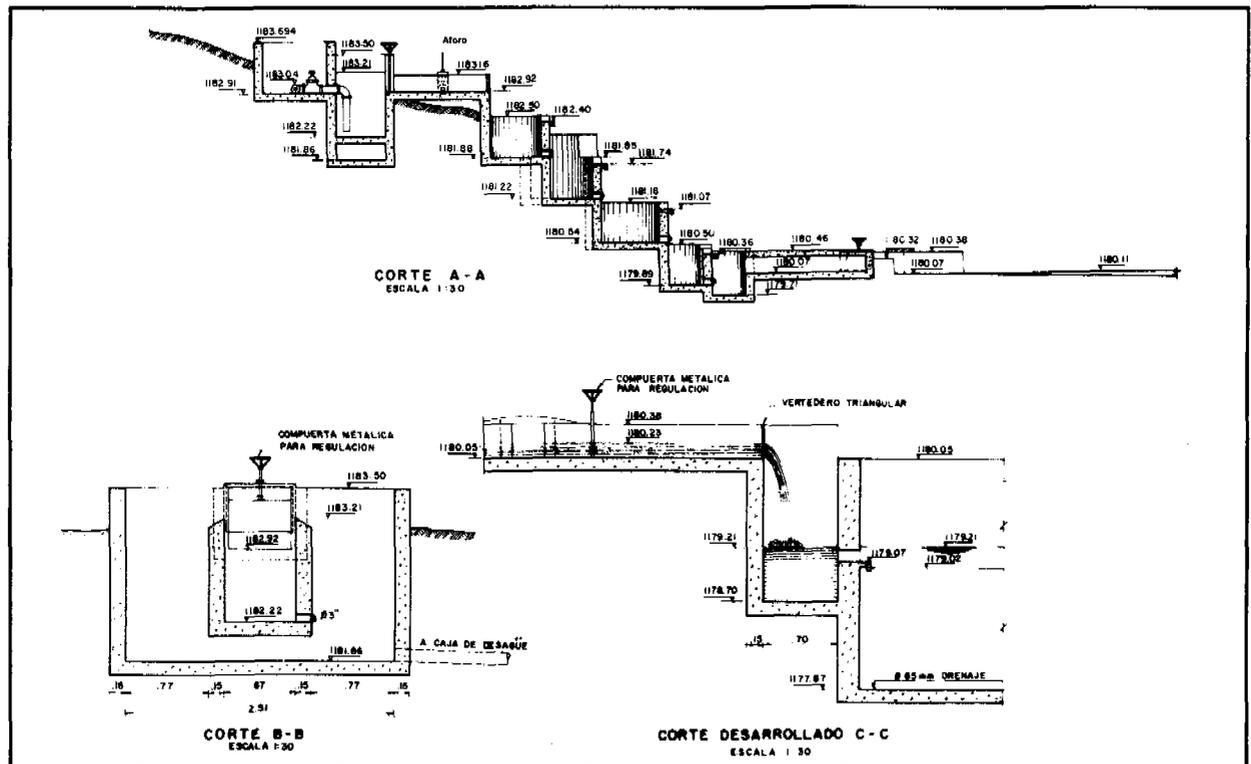


Fig. No. 23. Estructura de entrada. Cortes. Planta de tratamiento "La Sirena", Cali - Colombia.

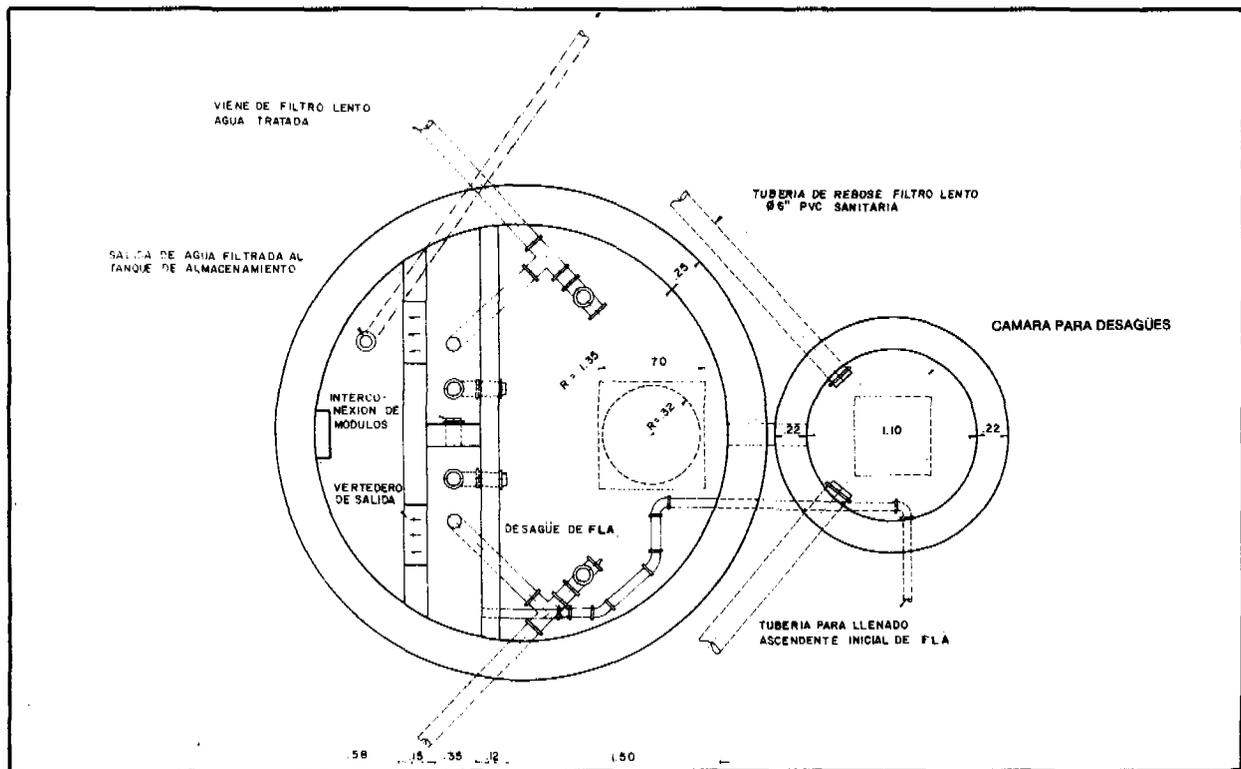


Fig. No. 24. Estructura de salida de las unidades de FLA. Planta de tratamiento "La Sirena", Cali - Colombia.

Las labores de operación del sistema se favorecen con el diseño de la estructura de salida propuesta en la Figura No. 24. A través de ella se efectúa la salida de agua tratada, la interconexión y desagüe de módulos y el llenado ascendente inicial; se facilita la medición de flujo, la aplicación del desinfectante y se eliminan los efectos hidráulicos causados por estructuras ubicadas aguas abajo del filtro lento o por la misma red de distribución.

d. Con el propósito de facilitar la interpretación de la información técnica escrita y la interpretación de planos hidráulicos y estructurales, el AREA ha realizado esquemas isométricos ambientados en planta y en corte de algunos de sus proyectos de demostración. Esta información está dirigida principalmente a administradores, médicos salubristas, epidemiólogos, promotores de salud, etc, que no están familiarizados con el lenguaje de la ingeniería.

#### 2.4.4 Conclusiones

a. Un sistema de tratamiento de filtración lenta puede ser proyectado considerando diferentes formas y con diversos tipos de materiales cuya utilización

dependerá del tamaño de la estructura, de la disponibilidad de recursos económicos y de la clase de suministro local.

Es un error considerar un modelo tipo para todo diseño de planta de tratamiento con filtración lenta, pues las características de calidad de agua cruda, las condiciones topográficas, la calidad del suelo, condiciones hidráulicas y el aprovechamiento de materiales locales de cada proyecto en particular, son diferentes.

b. La altura de las unidades de filtración lenta representa un valor importante dentro de los costos directos de la planta. El conocimiento de las variables que la condicionan permiten tomar decisiones sobre los valores mínimos a adoptar. En este sentido fue importante el estudio de hidráulica de múltiples y las evaluaciones a nivel de prototipo realizadas por el AREA.

c. Un buen diseño, especificación y construcción de la estructura de entrada permiten controlar el proceso y operar el sistema adecuadamente de acuerdo con los parámetros de diseño.

d. No obstante ser una alternativa sencilla para el tratamiento del agua, la filtración lenta en arena requiere de una buena capacitación. Esta capacitación debe estar orientada hacia comprensión del proceso, de su hidráulica, operación y mantenimiento, considerando el nivel de escolaridad y características socio-culturales del personal a quien va dirigido.

## 2.5 Simplificación de la operación y el mantenimiento

La tecnología de FLA ha probado ser una buena alternativa inclusive para grandes ciudades. Sin embargo, su promoción en Colombia se ha orientado prioritariamente hacia el sector rural y urbano marginal y hacia las cabeceras municipales menores de 20.000 habitantes, las cuales constituyen el 90 % de los 1.009 municipios colombianos. En estas comunidades la posibilidad de encontrar operadores con buen nivel de escolaridad es muy limitada. Por esta razón, esta parte del Proyecto se orientó a introducir cambios que facilitaran el control de parámetros básicos como caudal, velocidad de filtración, pérdida de energía hidráulica e innovaciones en el diseño de las plantas para las acciones de operación y mantenimiento. A continuación se presentan consideraciones generales sobre estos aspectos.

### 2.5.1 Medición y regulación de caudal

Debe existir por lo menos un sistema de medición con regulación de caudal a la entrada de la planta, y en lo posible también a la entrada de cada unidad que trabaja en paralelo. Se recomienda un medidor totalizador a la salida de la planta. El sistema de medición y regulación promovido por el AREA es sencillo y se utiliza en diferentes campos de la ingeniería hidráulica.

- a. *Vertedero de excesos.* Usualmente proyectado de tipo rectangular y pared gruesa. Su cota de rebose debe impedir la entrada de caudales superiores al caudal de diseño. Flujos menores se pueden obtener cerrando parcialmente la compuerta de regulación.
- b. *Compuerta de regulación.* Generalmente proyectada en lámina de hierro protegida con anticorrosivo y regulada con un tornillo sinfín. A la fecha, estas compuertas presentan dos problemas: requieren protección periódica contra la corrosión, y por su relación área de flujo vs altura, poseen poca sensibilidad como elemento regulador para caudales pequeños.

c. *Vertedero triangular.* Su ángulo de escotadura se selecciona según la sensibilidad deseada en la relación altura vs caudal. Se recomienda también utilizar materiales que no presenten problemas de corrosión.

- d. *Elementos de medición.* El flotador con su guía para la medición se localiza en la cámara de aquietamiento. El elemento de lectura presenta la siguiente información: altura (h) sobre la cresta del vertedor, caudal (Q) en l/s y la velocidad de filtración correspondiente (v) en m/h. Los operadores alfabetas pueden controlar y registrar estos parámetros numéricamente. En otros casos se deben adoptar señales de colores en la guía de medición; estas señales deben permitir ajustes periódicos por el supervisor del sistema, en armonía con los cambios en la demanda o en la operación de la planta.

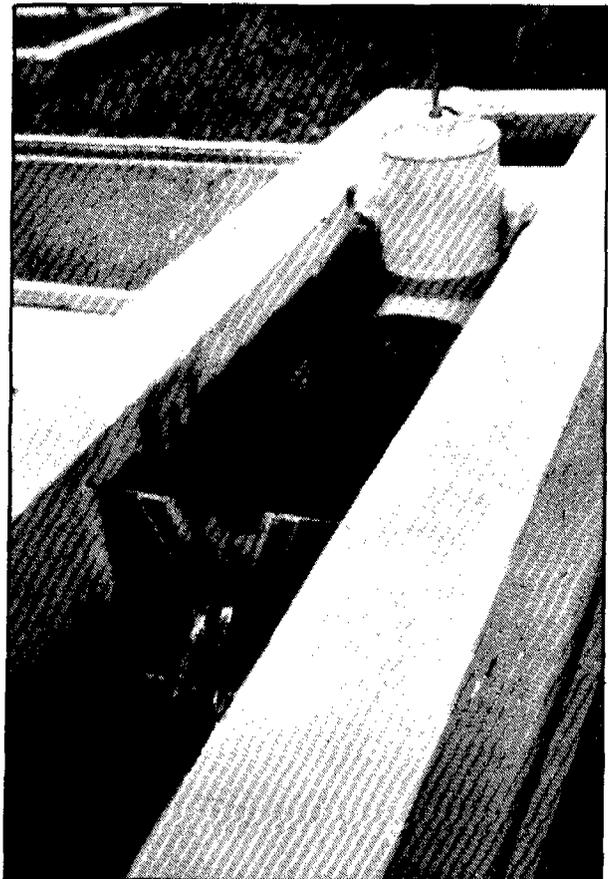
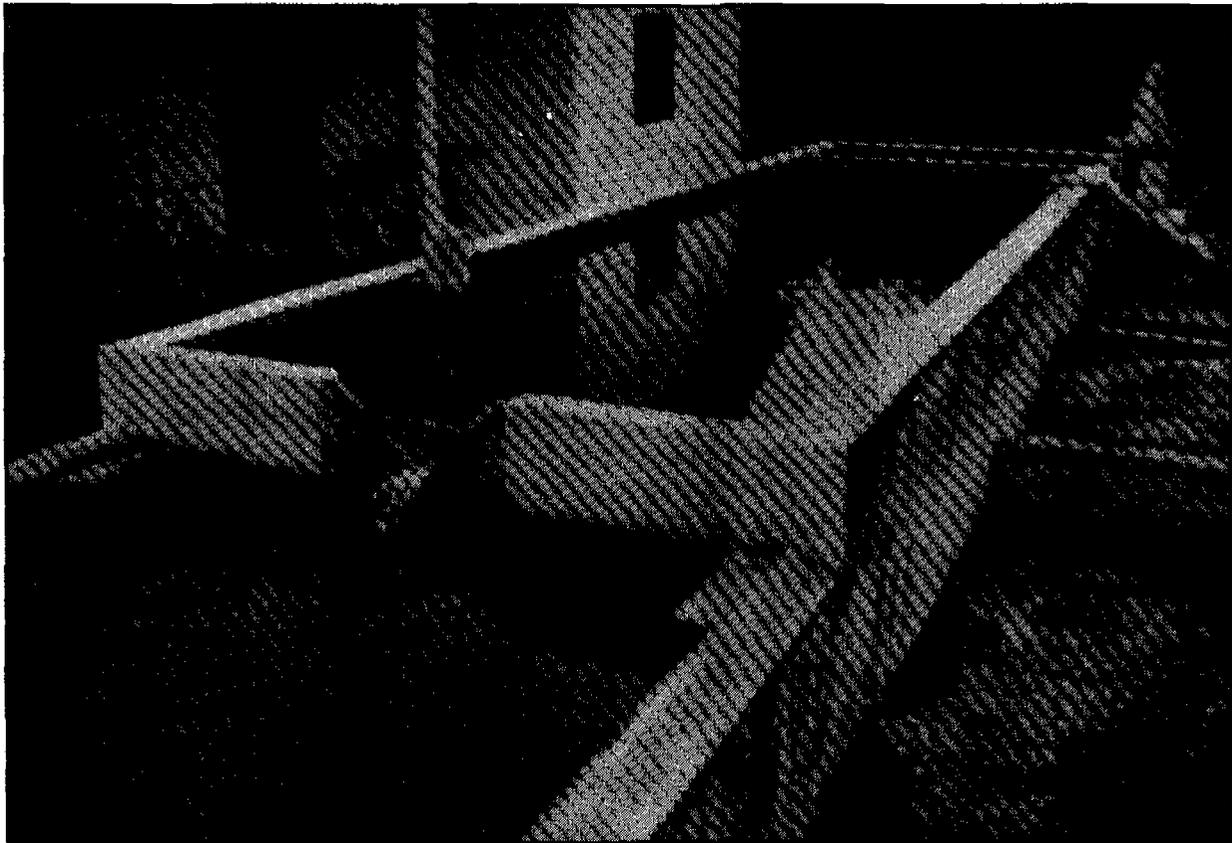


Fig. No. 25. Sistema de medición y regulación de caudal de la planta de tratamiento del colegio "Colombo Británico", Cali - Colombia.



*Fig. No. 26. Sistema de medición y regulación de caudal de la planta "El Retiro". Cali - Colombia.*

### **2.5.2 Unidades de tratamiento con control de flujo a la entrada**

Controlando el flujo a la entrada, el nivel de agua sobre el lecho de arena aumenta, como consecuencia del desarrollo de la biomembrana. Esta pérdida de energía aumenta gradualmente como se ilustra en el Aparte 2.3.3. De esta manera el operador puede observar y planificar fácilmente la operación de la planta. De otra parte, en sistemas con operadores calificados se puede llevar un registro de caudal y pérdida de carga de gran ayuda para planificar el mantenimiento de las unidades a mediano y largo plazo o para identificar emergencias por cambios bruscos en el comportamiento de este parámetro.

### **2.5.3 Tubería móvil para rebose y drenaje del sobrenadante en las unidades de FLA**

Este elemento, denominado "cuello de ganso", permitió superar una deficiencia de los primeros diseños del AREA sin utilizar válvulas comerciales de mayor

costo. La movilidad de la tubería permite que se use como rebose o que se sumerja para drenar el sobrenadante en corto tiempo, reduciendo así el impacto en la biomasa por cambios en el ecosistema.

### **2.5.4 Estructuras de entrada y salida de las unidades de FLA**

Gradualmente el AREA ha logrado estandarizar estas estructuras, lo cual facilitará en el futuro la capacitación de tecnólogos y operadores. Una comparación entre la primera estructura proyectada en "Chorro de Plata" y una reciente como las que se ilustran en el Aparte 2.4, muestran el impacto del Proyecto en los criterios del grupo para simplificar la tecnología facilitando su operación y mantenimiento.

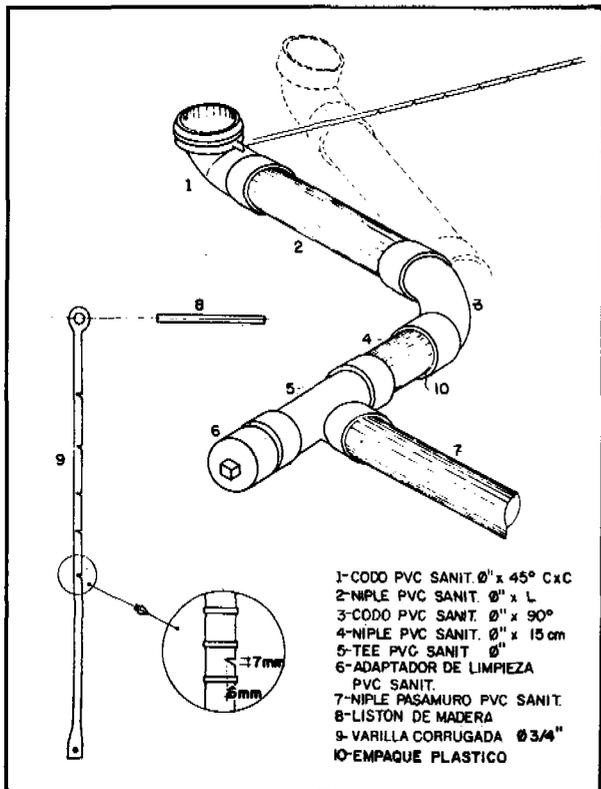
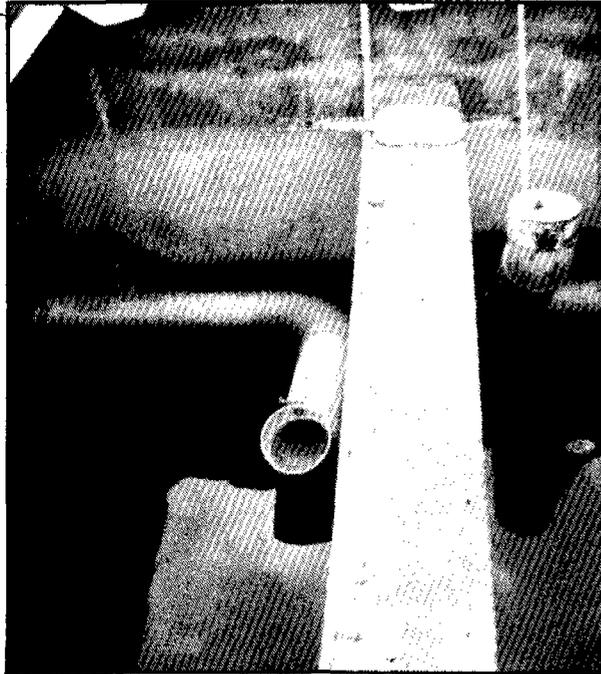


Fig. No. 27. Tubería móvil o "cuello de ganso" para rebose y drenaje de agua sobrenadante en unidades de FLA.

## 2.5.5 Válvulas de apertura rápida. Retrolavado de unidades de pretratamiento

En el desarrollo del presente Proyecto se demostró la importancia del retrolavado para facilitar el mantenimiento de las unidades de pretratamiento, tanto a nivel de unidades piloto como de proyectos a escala real (ver Aparte 2.3). La eficiencia del retrolavado es afectada por varios parámetros entre ellos la velocidad de apertura de la válvula en el drenaje y la posibilidad de producir cierres rápidos intermitentes. Para ello se desarrolló y se puso en funcionamiento una válvula de apertura rápida aprovechando las tapas de vasijas para transporte de leche, de uso regular en Colombia.



Fig. No. 28. Válvula para limpieza por retrolavado de filtros gruesos construida con tapa de vasija para transporte de leche. Planta de tratamiento "El Retiro". Cali - Colombia.

## 2.6 Equipo simplificado para la caracterización del agua y el control de las unidades de tratamiento

El equipo de laboratorio, que se utiliza para controlar la operación y la calidad de agua producida en las plantas convencionales, resulta la mayoría de las veces inadecuado y muy costoso para los sistemas de tratamiento en pequeños asentamientos urbanos o rurales nucleados. Consecuentemente el AREA revisó la experiencia de otros grupos de trabajo en el desarrollo de equipo simplificado y se construyeron o adquirieron prototipos de estos equipos, los cuales se relacionan a continuación:

- a. Turbinef, CEPIS, Perú.
- b. Field Test Kit, IRCWD, Suiza.
- c. Water Testing Kit, Del Agua/ROBENS INSTITUTE, Inglaterra.

El Turbinef apareció descrito en una de las Hojas de Divulgación Técnica del CEPIS en 1978. Con base en esta descripción se construyó un prototipo en UNIVALLE. Los otros equipos aparecen descritos en los manuales correspondientes, de los cuales se prepararon versiones en español. El AREA consiguió ejemplares de estos equipos que se utilizaron en el marco del Proyecto con buenos resultados.

Algunos de los componentes de estos equipos son ya lo suficientemente simples y económicos por lo que pueden ser utilizados directamente por las comunidades y los fontaneros en el control interno de los sistemas. Este es el caso del turbidímetro de columna y del comparador de color para cloro residual. Los equipos en general pueden ser utilizados por técnicos encargados de supervisar o de apoyar un grupo de comunidades, siendo el Water Testing Kit el más apropiado para ser utilizado en las visitas de campo.

Con la colaboración de los técnicos L. Cerón y P. López, coordinados por el Ing. R. Duque, docentes del Departamento de Procesos Químicos y Biológicos de la Universidad del Valle, se evaluaron dos elementos de estos equipos. Con base en esta evaluación se hacen las siguientes consideraciones:

### 2.6.1 Turbinef

Se considera que una primera versión de este turbidímetro fue presentada por Baylis, J.R. en 1926<sup>1</sup>. Esta versión permitía leer turbiedades inferiores a 2 unidades con una precisión de  $\pm 0.1$ . El turbinef fue construido en la Universidad del Valle con base en las medidas de un equipo construido por el CEPIS y probado para turbiedades entre 0 y 10 UNT. Al respecto se hacen las siguientes observaciones:

- a. El costo de la unidad, incluyendo mano de obra y los reactivos para preparar los patrones, es de 30 dólares aproximadamente; el turbidímetro Hach Modelo 2.100 A, Nefelométrico tiene un costo de 2.000 dólares.
- b. Se leyeron diferentes muestras de agua tanto con el Turbinef como con un nefelómetro, el Hach 2.100 A. Los resultados mostraron la siguiente relación:  $Hach = 0.98 \times Turbinef$ ;  $r^2 = 0.996$ .
- c. Ventajas: Su costo es muy bajo comparado con otros turbidímetros comerciales; su construcción y su manejo son sencillos; es suficientemente preciso para valores comprendidos entre 0 y 10 UNT.
- d. Desventajas: Se requiere infraestructura de laboratorio para preparar y almacenar la solución patrón de formazina; entrenamiento especializado para preparar y utilizar los patrones; energía eléctrica.

### 2.6.2 Turbidímetro de columna

Este turbidímetro se encuentra incluido en los equipos de Del Agua/Robens Institute y IRCWD. La medición se basa en la percepción visual de la luz difundida por las partículas presentes en la muestra al ser iluminadas lateralmente. Su precisión y posibilidades de manejo son mejores para turbiedades superiores a las 5 UNT. A continuación se hacen algunos comentarios en relación a este equipo:

- a. El equipo es muy económico y fácil de producir localmente.
- b. Se calibró el equipo con patrones de formazina y con sedimento del río Cauca y se graficaron los resultados. La relación de altura en la columna vs. las mediciones de turbiedad hechas con equipo Hach fue prácticamente la misma para los dos patrones. Así, en este caso, el color natural del agua no interfirió en las mediciones.

<sup>1</sup> BAYLIS, J.R. *Turbidity meter for accurate measurement for low turbidities*. Industrial and Engineering Chemistry 18:311, 1926.

- c. Se caracterizaron muestras de diferentes fuentes con el nefelómetro Hach y con el turbidímetro de columna. Estos resultados presentaron la siguiente correlación lineal: Turbidímetro de columna =  $6.87 + 0.77 \times \text{Hach}$ ;  $r^2 = 0.96$ .
- d. Ventajas: no requiere energía eléctrica; es muy económico y sencillo de operar; puede utilizarse con turbiedades mayores de 5 UNT, lo que le da un potencial en el control de unidades de pretratamiento y para identificar problemas de operación en las unidades de FLA.
- e. Desventajas: no es útil para turbiedades bajas.

## 2.7 Estudio sobre cantidades de obra y costos

La falta de información sobre cantidades de obra y costos involucrados en el uso de la tecnología de FLA fue identificada como otro de los factores limitantes para su mayor aplicación. A continuación se resumen los resultados encontrados en el subproyecto orientado a superar esta limitación.

### 2.7.1 Objetivos específicos

- a. Desarrollar un programa de computador que permita estimar cantidades de obra y costos, como una herramienta para la aplicación y el aprovechamiento de la tecnología.
- b. Obtener un modelo de costos considerando la experiencia de la aplicación de la tecnología en el Valle del Cauca. Con base en esta experiencia se pueden obtener modelos similares para otras regiones.
- c. Considerar el efecto de economía de escala en la aplicación de la tecnología.
- d. Considerar el efecto de la altura de las unidades en los costos de inversión inicial.
- e. Comparar los costos de construcción, operación y mantenimiento de sistemas de FLA con sistemas convencionales.

### 2.7.2 Método

- a. Las cantidades de obra se establecieron teniendo en cuenta los items de mayor incidencia en el costo. Los cálculos de cantidad de obra se hicieron con

base en los diseños típicos desarrollados por el AREA durante la promoción de la tecnología y tomando el área de filtración como la variable independiente en la situación más general. Para considerar el caudal como variable independiente se utilizó una velocidad de filtración de 0.15 m/h.

El estudio incluyó diferentes formas geométricas (ver Figura No. 29) y diferentes materiales de construcción. Se consideró una capacidad portante del terreno superior a 1.3 Kgf/cm<sup>2</sup>.

- b. Para caudales entre 2 y 30 l/s, y para diferentes alternativas de diseño y construcción, se calcularon los costos directos y los totales, que consideran un sobre-costo del 32% por efectos de administración, imprevistos y utilidad (AIU).

Los costos de inversión en la construcción de sistemas de tratamiento de agua, siguen por lo general el siguiente modelo:

$$C = aQ^b \text{ ó también } \ln(C) = \ln(a) + b \ln(Q)$$

donde C representa los costos de construcción, Q la capacidad de la planta y a y b coeficientes que deben ser precisados para cada tecnología y región en particular.

- c. El efecto de la economía de escala se establece con base en el coeficiente b. En la medida en que este factor se aproxima a uno, la economía de escala es menos significativa.
- d. La altura de las unidades de FLA se estimó inicialmente en 2.15 m. Después se consideraron alturas mayores para tener en cuenta que en otros países se puede necesitar un sistema de drenaje con otras especificaciones o eventualmente resulta conveniente especificar lechos de arena de mayor espesor.
- e. Los costos de la tecnología de FLA se establecieron con base en la experiencia del AREA en la zona de ladera del Valle del Cauca, Colombia. Para la tecnología convencional se utilizó la información del antiguo Instituto Nacional de Fomento Municipal, INSFOPAL, para plantas de la misma capacidad localizadas en una región que incluye al Valle del Cauca. Los costos de la tecnología de FLA se incrementaron en un 70%, suponiendo que también se construyan unidades de pretratamiento con buena capacidad de almacenamiento de sólidos.

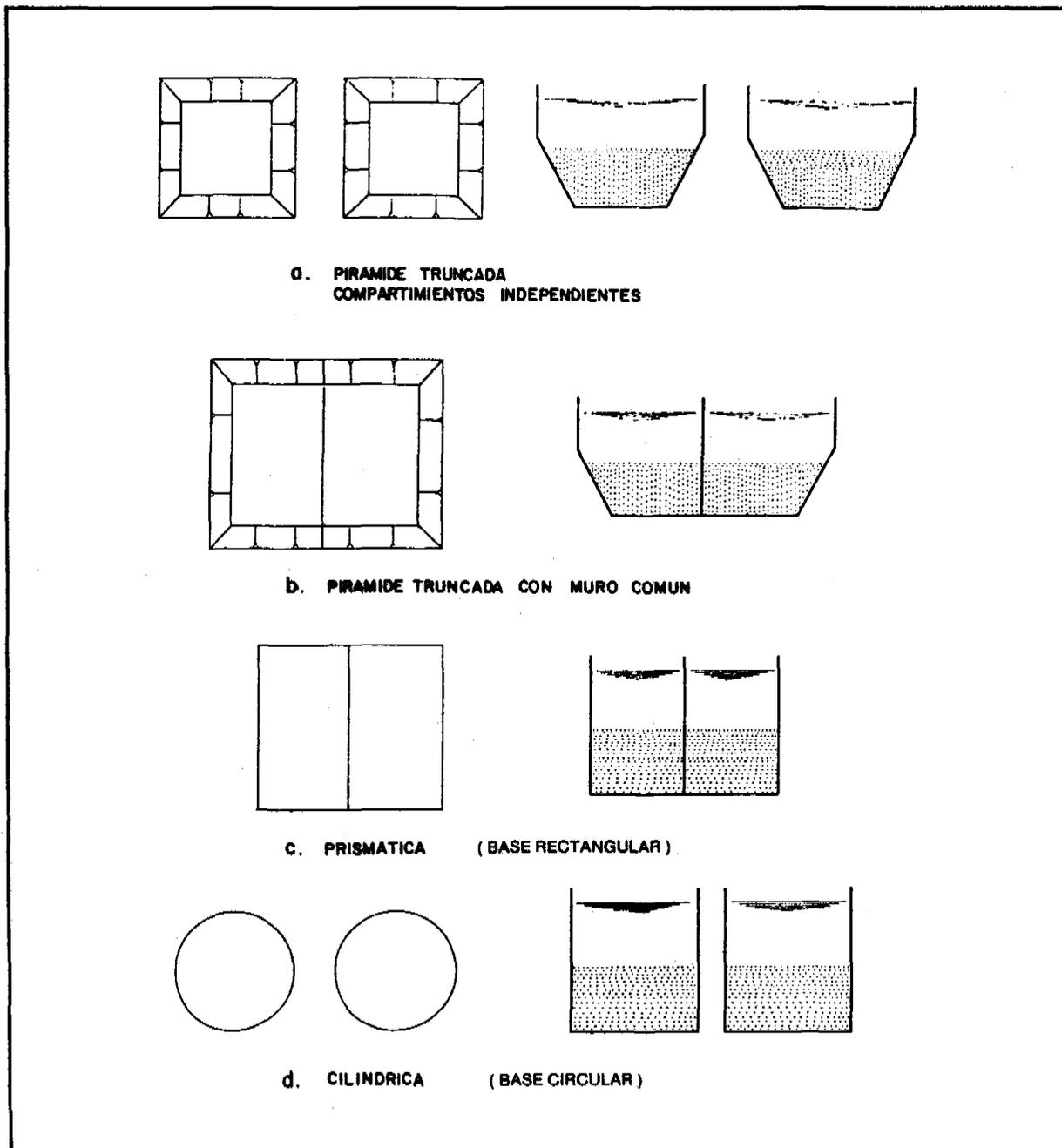


Fig. No. 29. Formas típicas consideradas para los compartimientos principales de las unidades de FLA.

### 2.7.3 Consideraciones sobre los resultados

a. Se obtuvieron relaciones matemáticas entre el área de filtración y las cantidades de obra correspondientes a los diferentes componentes. Se desarrolló un programa de computador que consta de 5 subpro-

gramas con las siguientes funciones: coordinación de la ejecución; entrada de datos básicos; corrección de datos básicos; entrada de precios unitarios; actualización de precios unitarios; dimensionamiento de estructuras principales y estimativos de cantidad de obra y costos.

b. En el Cuadro No. 9 se observa que, para un mismo caudal, no existen diferencias significativas en los costos de inversión inicial según las diferentes alternativas. El Cuadro No. 10 muestra los incrementos en los costos totales cuando para un mismo caudal se aumenta el número de unidades. Se puede observar que los incrementos son también bajos en general, con valores mayores para las alternativas con los compartimientos principales independientes (unidades con forma de pirámide truncada y de cilindro). En consecuencia se formula un modelo

con los valores promedios de costos para cada alternativa, los cuales se resumen en el Cuadro No. 11. En la formulación del modelo, indicado a continuación, se tuvieron en cuenta áreas de filtración desde 144 m<sup>2</sup> (6 l/s) hasta 720 m<sup>2</sup> (30 l/s).

$$C = 0.2801 A^{0.8533}; C = \text{miles de US\$};$$

$$A = \text{área en m}^2$$

$$C = 4.2166 Q^{0.8533}; Q = \text{l/s, para una velocidad de 0.15 m/h}$$

**Cuadro No. 9**

No. de Módulos	Caudal (l/s)	Enterrados						Semienterrados		Valor Promedio $\bar{X}$	Desv. Standar $\sigma_{n-1}$
		Pirámide Truncada		Prismático		Cilíndrico		Prismático			
		Con Muro	Independiente	Mampostería	C. Ciclópeo	Mampostería	C. Ciclópeo	Mampostería	C. Ciclópeo		
2	2	10385	10771	10438	10960	9554	11249	9229	10261	10356	682.89
	6	19478	18474	20008	20630	19393	19562	17578	19197	19290	928.63
	12	32663	30759	33916	35137	33414	35867	30402	32635	33099	1917.41
	18	45060	43369	46835	48209	46229	48486	42161	44892	45655	2224.20
3	12	34502	33482	34992	36072	36249	38771	31478	34478	35003	2143.39
	18	47261	45313	47735	50233	49659	52313	43293	46618	47803	2876.82
	24	59771	57337	63458	62783	62052	64863	54249	57968	60310	3608.32
4	18	50671	49345	50791	52964	56361	56385	44912	50309	51467	3784.96
	24	62554	60984	62739	65683	66502	69703	55598	61627	63174	4228.43
	30	73920	72771	75695	78799	79727	81964	67076	73321	75409	4723.22

(1) AIU = 32%. Fuente: Servicio Seccional de Salud del Valle

*Cuadro No. 9. Costos totales de construcción de unidades de FLA en el Valle del Cauca considerando diferentes alternativas de diseño y diferente número de módulos. Valores en US\$. Septiembre de 1987.*  
 US\$1 = Col. \$249

**Cuadro No. 10**

Área de Filtración (m <sup>2</sup> )	Caudal para V = 0.15 m/h (l/s)	Incremento en el número de unidades	Enterrados						Semienterrados	
			Pirámide	Truncada	Prismático		Cilíndrico		Prismático	
			Con Muro	Independiente	Mampostería	C. Cicolópeo	Mampostería	C. Cicolópeo	Mampostería	C. Cicolópeo
288	12	De 2 a 3	5.63	8.85	3.17	2.66	8.49	8.10	3.55	5.65
432	18	De 2 a 3	4.88	4.48	1.92	4.20	7.42	7.97	2.69	3.84
432	18	De 3 a 4	7.21	8.90	6.40	5.44	13.50	7.71	3.73	7.91
576	24	De 3 a 4	4.66	6.36	—	4.62	7.17	7.46	2.49	6.31

Los valores indican el porcentaje en que se incrementa el costo total por el incremento en el número de unidades

*Cuadro No. 10. Efecto del incremento del número de unidades en los costos totales de construcción de unidades de FLA.*

**Cuadro No. 11**

Área Filtración (m <sup>2</sup> )	Caudal Considerando V = 0.15 m/h		No. de módulos	Costo total	
	(l/s)	(m <sup>3</sup> /día)		Miles de Col \$	Miles de US \$
48	2	172.8	2	2579	10.36
144	6	518.4	2	4803	19.29
288	12	1036.8	3	8716	35.00
432	18	1555.2	4	12815	51.47
576	24	2073.6	4	15730	63.17
720	30	2592.0	4	18777	75.41

*Cuadro No. 11. Costo total de construcción de filtros lentos en arena. Valores seleccionados para la formulación del modelo de costos. Valle del Cauca, Septiembre de 1987. US \$ 1 = Col. \$ 249.00*

c. El valor del exponente indica una baja economía de escala. Con unidades semejantes, la experiencia del National Environmental Engineering Research Institute (NEERI), en la India, produjo un coeficiente  $b = 0.8773$ , según el modelo siguiente:

$$C = 132.11 A^{0.8773};$$

C = US\$ de 1982;  
A = área en m<sup>2</sup>.

En consecuencia, el uso de la tecnología de FLA debe proyectarse con períodos de diseño relativamente cortos permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos económicos en el sector del agua.

d. En la Figura No. 30 se ilustra el efecto de la altura en los costos de construcción de unidades de FLA con diferente capacidad y diferente número de compartimientos. Estos resultados muestran la importancia de las reducciones efectuadas en este parámetro en desarrollo del Convenio con el IRC.

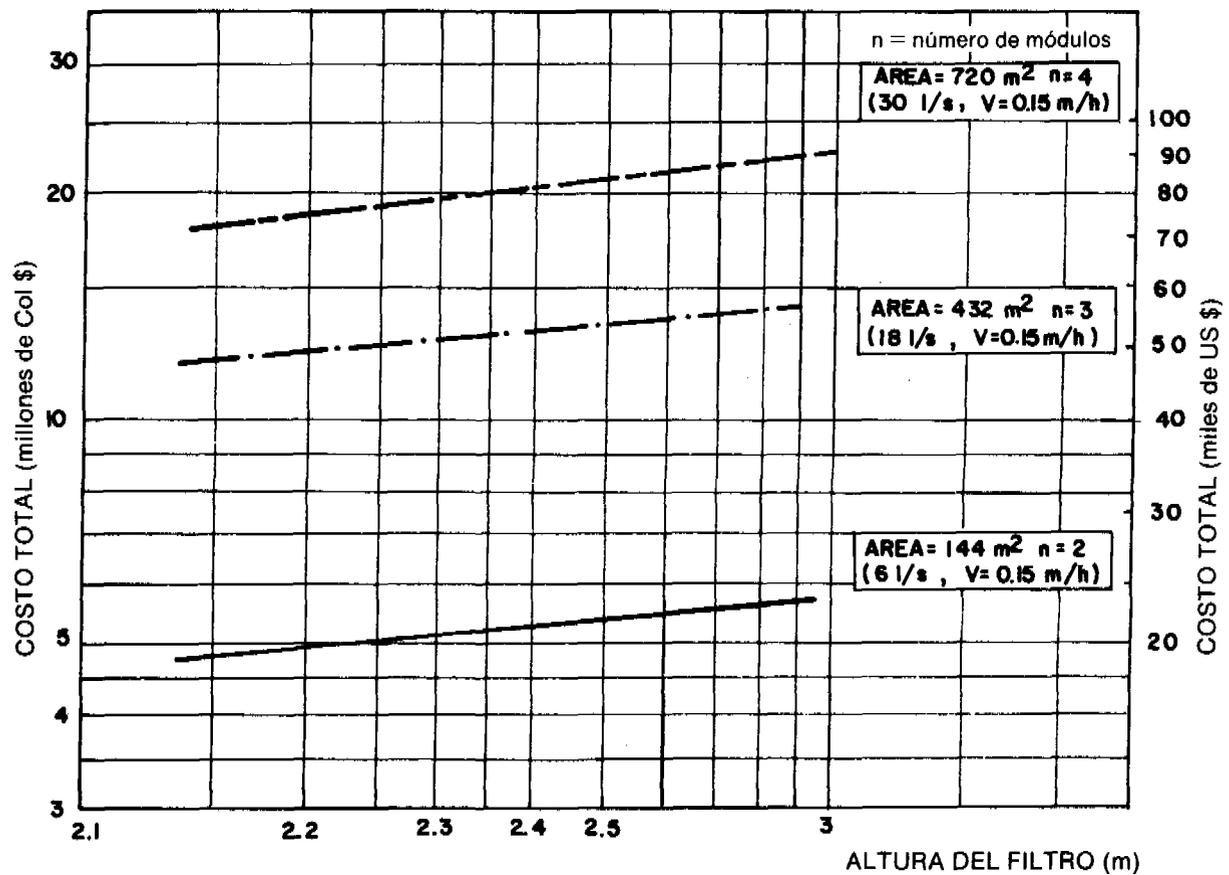


Fig. No. 30. Efecto de la altura en los costos de construcción de filtros lentos en arena. Valle del Cauca. Colombia. Septiembre de 1987.

e. En la Figura No. 31 se observa que las unidades de FLA precedidas de unidades de pretratamiento, de buena capacidad de almacenamiento de lodo, resultan más económicas en cuanto a inversión inicial, en comparación con las plantas de tratamiento convencional, hasta para caudales de 6.000 m<sup>3</sup>/día, equivalentes a unos 70 l/s. De otra parte, si se tienen

en cuenta costos de operación y mantenimiento, el punto de corte de las dos curvas en esta Figura se desplazaría significativamente hacia caudales aun mayores. Este punto de corte no se encontró en el presente estudio puesto que no incluyó caudales de este orden de magnitud.

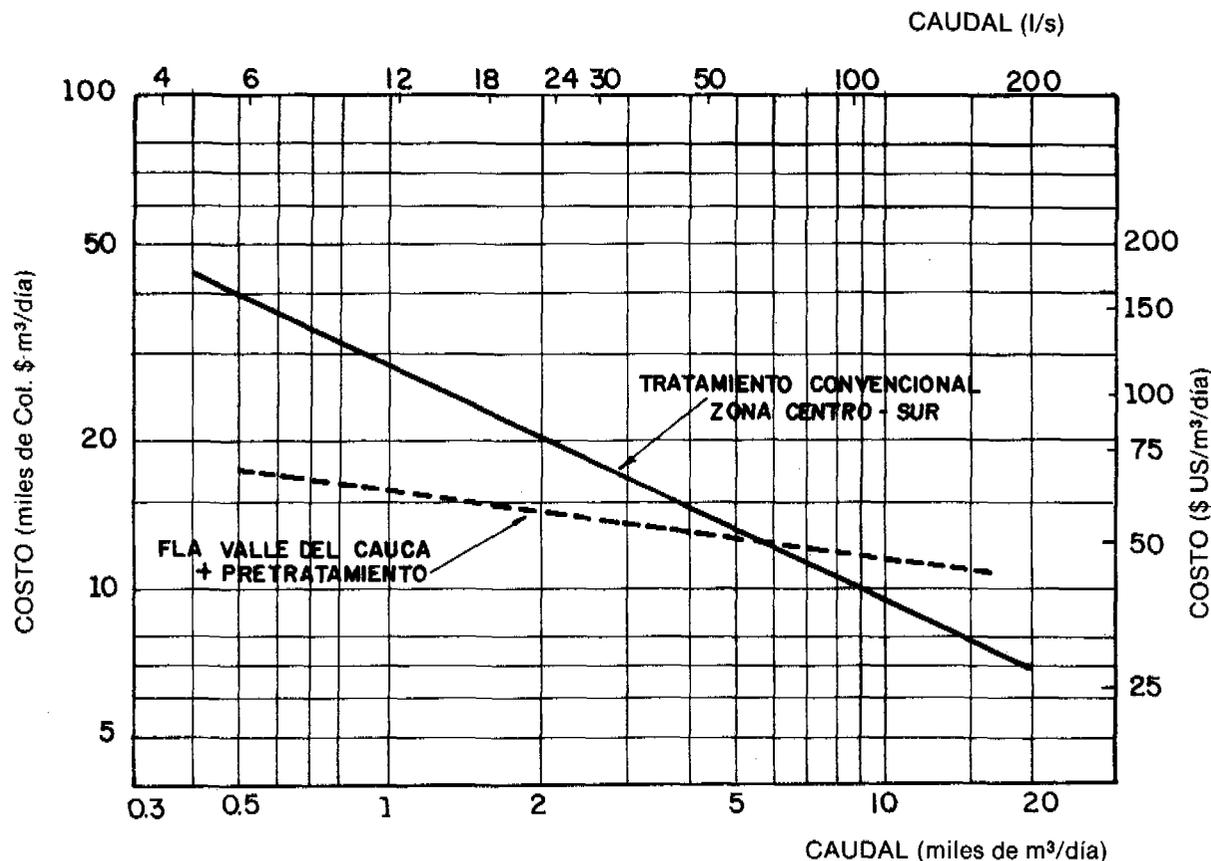


Fig. No. 31. Comparación de costos de inversión entre plantas convencionales y plantas de filtración lenta en arena. Valle del Cauca. Colombia. Sept. 1987.

**Notas**

- Las plantas de tecnología convencional incluyen coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección.
- Las unidades de FLA se han tomado con 2.15 m de altura y con una velocidad de filtración de 0.15 m/h.
- El punto de corte entre la tecnología de FLA con pretratamientos y la tecnología convencional, corresponde a un caudal de 6.000 m<sup>3</sup>/día, o sea 70 l/s. Este caudal permite abastecer las poblaciones que se indican a continuación.

Dotación (l/hab/día)	Población Abastecida
100	60.480
150	40.320
200	30.240
250	24.192
300	20.160

Si se consideran costos de operación y mantenimiento, el punto de corte se desplaza a la derecha, hacia caudales aún mayores. Estudios realizados por R. Paramasivan<sup>1</sup> en la India en 1982 indican que este punto de corte corresponde a 286 l/s. Esto significa que con una dotación de 200 l/hab/día se podría abastecer una población de 123.000 habitantes.

<sup>1</sup> PARAMASIVAN, R., and SUNDARESAN, B. *Slow sand filtration, research and demonstration project*, India. Final report, NEERI-IRC, 1982.

#### 2.7.4 Conclusiones

- a. La filtración lenta en arena, como alternativa de tratamiento de agua, es una tecnología que puede competir muy bien, en términos económicos, con las soluciones convencionales para la gran mayoría de las cabeceras municipales de Colombia y para el sector rural nucleado.
- b. Se requiere un estudio de costos semejante para las diferentes alternativas de pretratamiento, por lo

cual los nuevos proyectos deben sentar las bases para su ejecución.

- c. La reducción de altura de las unidades de FLA hecha por el AREA en desarrollo del presente Convenio, tuvo un impacto importante en la reducción de costos de inversión y en el aprovechamiento de la tecnología.



### 3 Consideraciones sobre el impacto y las perspectivas del Proyecto

Colombia, al igual que los demás países en América Latina, enfrenta un reto importante: mejorar la eficiencia y la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento construidos y aumentar la cobertura de los mismos. Esto requiere, entre otras consideraciones, el uso apropiado de tecnologías de bajo costo para lo cual el conjunto de acciones realizadas en este Proyecto resulta de gran utilidad. Con base en los resultados del Proyecto pueden hacerse las siguientes consideraciones sobre su impacto y sus perspectivas:

#### 3.1 A nivel regional

Teniendo en cuenta las acciones de promoción integrada de la tecnología, en mutua colaboración con diferentes instituciones, se estima que veinte (20) plantas estarán en operación en 1989 en el valle geográfico del río Cauca. La tecnología de FLA es ahora aceptada como una buena alternativa tanto desde el punto de vista técnico como socio-económico.

La zona urbano-marginal de ladera de la ciudad de Cali ha crecido significativamente en los últimos años y la experiencia con el proyecto de demostración de "La Sirena" muestra la conveniencia de promover este tipo de soluciones como alternativa a seguir, en lugar de continuar extendiendo la red y elevando agua desde la parte baja de la ciudad de Cali, con alturas de bombeo que superan los 200 m de columna de agua.

Varios urbanizadores privados, colegios y universidades localizados en el sur de la ciudad están haciendo

uso de la tecnología FLA, lo cual facilitará aún más su promoción en el futuro próximo.

El Comité de Cafeteros del Valle del Cauca ha construido más de 400 acueductos rurales. El Comité inició un proyecto de FLA en 1986, ejecutó dos en 1987 y siete más fueron proyectados en 1988, los cuales serán puestos en operación en 1989. Actualmente está motivando a otras regiones para que hagan uso de esta tecnología.

El Servicio Seccional de Salud del Valle tiene tres (3) proyectos diseñados y está construyendo el primero en "La Buitrera", en la vecindad del municipio de Palmira.

Debe hacerse énfasis en el futuro en el mejoramiento de la participación comunitaria en la administración y el control de las obras e igualmente debe promoverse la educación sanitaria en general. Se requiere diseñar y producir material didáctico en español, tanto a nivel técnico como profesional, que facilite las labores de supervisión, asesoría o diseño en relación con el aprovechamiento de la tecnología. El AREA adelanta ahora acciones orientadas a posibilitar su adecuada ejecución.

La experiencia en el aprovechamiento de la tecnología en la región cafetera y en la zona suburbana de la ciudad de Cali será evaluada por el AREA en coordinación con el IRC y con el apoyo del IDRC y del Gobierno de Canadá.

### 3.2 A nivel nacional

Con base en los resultados del Proyecto, se puede afirmar que la tecnología de FLA es una alternativa de potabilización que merece ser considerada para mejorar la calidad de los sistemas dentro del Plan de Ajuste del Sector Agua Potable y Saneamiento Ambiental (PAS), programa que orientará la inversión de los recursos para acueductos en Colombia durante los próximos años.

Con este programa, además de ampliar la cobertura (Ver Cuadro No. 12), se busca también reducir las pérdidas y mejorar la calidad del agua en los sistemas existentes pues la calidad es muy deficiente en los

municipios pequeños y prácticamente nula en el sector rural. Este sector representa más del 90 % de los asentamientos nucleados del país. Además en las 26 cabeceras municipales intermedias y grandes existen asentamientos marginales de ladera, como el de "La Sirena" en Cali, donde la tecnología de FLA puede ser también la mejor alternativa.

Otros programas del Gobierno en Colombia, como el Plan Nacional de Rehabilitación (PNR), el Programa de Desarrollo Rural Integrado (DRI) y el Plan de Desarrollo Integral para la Costa Pacífica (PLADEI-COP), incluyen entre sus acciones el mejoramiento de la calidad del agua en comunidades donde la tecnología de FLA es también una buena alternativa.

**Cuadro No. 12**

Tamaño Municipios	Coberturas Promedias existentes (%)		Coberturas P.A.S. (%) (1988 - 1993)		Número de Municipios	Datos Poblacionales		
	Acueducto	Alcantar.	Acueducto	Alcantar.		Municipios Atendidos	Población (millones de hab.)	Población (%)
GRANDES P > 800.000	96.0	76.3	96.0	93.0	4	36	10.3	35.0
INTERMEDIOS 100.000 < P < 800.000	71.9	53.9	84.4	62.8	22			
MENORES 30.000 < P < 100.000	62.7	48.0	78.2	59.0	41	747	9.2	31.5
PEQUEÑOS 12.000 < P < 30.000	52.1	35.4	66.0	45.8	84			
RURALES P < 12.000	26.8	13.4	30.6	15.0	858			
PROMEDIO NACIONAL	57.0	44.0	80.0	54.0	1009	1009	29.5	100.0

*Cuadro No. 12. Cobertura de los sistemas de abastecimiento de agua y de remoción de aguas residuales en Colombia (1,2,3).*

- (1) Programa de Ajuste del Sector Agua Potable y Saneamiento Ambiental P.A.S.  
 (2) El sector de agua potable y saneamiento de D.N.P., sept. de 1988.  
 (3) DANE, Censo de 1985

De otra parte, el país vive un acelerado proceso de descentralización político-administrativa. Esta tecnología puede ser manejada a nivel de "provincia", haciendo posible los objetivos de este proceso al fortalecer la capacidad local de operación y mantenimiento.

La realidad nacional y los resultados obtenidos con el Proyecto en el Valle del Cauca están generando una gran presión para usar la tecnología en otras regiones. Esto requiere una planificación mínima que posibilite el desarrollo de recurso humano en ellas, con capacidad para asesorar y supervisar su adecuado uso, con criterios técnicos y socioeconómicos apropiados, reduciendo así el riesgo de nuevos fracasos como el que ya se presentó en Santa Bárbara de Timbiquí, en la Costa Pacífica.

Instituciones con jurisdicción a nivel nacional, como el Ministerio de Salud y la Caja Agraria, o de nivel regional o local con sede en diferentes Departamentos de Colombia, han solicitado apoyo al AREA para iniciar la construcción de obras. Sin embargo, por su organización, por su presupuesto o por su cronograma, estas obras no pueden utilizarse como proyectos de demostración y no se dispone de recursos que permitan crear una infraestructura mínima en la región que dé continuado soporte al aprovechamiento en el tiempo de esta u otras tecnologías de bajo costo. Para superar estas limitaciones y estimular la formación de estos grupos, el AREA, en coordinación con el Departamento Nacional de Planeación, presentó una propuesta al Gobierno de los Países Bajos a través de su embajada en Colombia.

### 3.3 A nivel internacional

Existe un renovado interés en América Latina por el uso adecuado de la tecnología después de reconocidos fracasos en países como Brasil (Hespanhol, J. 1969<sup>1</sup>) y

Perú (Canepa de V, 1982<sup>2</sup>), lo cual seguramente será estimulado por los desarrollos en métodos simples de pretratamiento y por una aproximación más integrada con las comunidades beneficiadas. Profesionales de países como Perú, Ecuador, Bolivia y Guatemala han manifestado su interés en recuperar la experiencia del AREA para tenerla presente en la transferencia de la tecnología en sus respectivos países.

En Estados Unidos se prevé la construcción de varios cientos de plantas de FLA en el próximo futuro (Logsdon, G.S. and Fox, K., 1988<sup>3</sup>) y es significativo el número de acciones académicas y profesionales que alrededor de la filtración lenta tienen lugar con el apoyo de organismos como la EPA. Inglaterra optimiza sus sistemas de tratamiento (Rachwal et al.<sup>4</sup>), profesionales de Thames Water Authority consideran que esta tecnología tiene un espacio ganado y ameritará nuevos desarrollos también durante el próximo siglo. En los Países Bajos, las unidades de FLA tienen sistematizada su operación y mantenimiento.

Países como Colombia deben continuar recuperando estas experiencias internacionales, adaptándolas, desarrollándolas y promoviéndolas según sus propias realidades regionales.

<sup>1</sup> HESPANHOL, J. *Investigação sobre o comportamento e aplicabilidades de filtros lentos no Brasil*. Universidade de Sao Paulo, Faculdade de Higiene e Saúde Pública. Sao Paulo, Brasil, 1969.

<sup>2</sup> CANEPA DE VARGAS, L. *Filtros de arena en acueductos rurales*. Informe final. Lima, Perú. CEPIS/OMS/OPS, 1982.

<sup>3</sup> LOGSDON, G.S. and FOX, K.R. *Slow sand filtration in the United States. Slow sand filtration: Recent developments in water treatment technology*. Edited by Graham, N.J.D. London, England, 1988.

<sup>4</sup> RACHWAL, A.J., BAUER, M.J. and WEST, J.T. *Advanced techniques for upgrading large scale slow sand filters*. En: *Slow sand filtration: Recent developments in water treatment technology*. Edited by Graham, N.J.D. London, England, 1988.



## 4 Organización general del grupo de trabajo para participar en el desarrollo del Proyecto

### 4.1 Consideraciones generales

El desarrollo de este Proyecto en Colombia estuvo a cargo del AREA DE ABASTECIMIENTO Y REMOCION DE AGUA en la Universidad del Valle. Alrededor del AREA se promovió la organización de un grupo de trabajo amplio el cual se integró y utilizó en lo posible la infraestructura disponible en la Universidad y especialmente en las instituciones del sector de agua en la región.

El proyecto se ha venido ejecutando en dos grandes líneas, como se ilustra en la Figura No. 32. Estas líneas son: Estudio y desarrollo de la tecnología y Transferencia integral de la misma en las instituciones del sector. En la práctica, ellas no son independientes sino que se interrelacionan entre sí. El grupo además de su contacto internacional con el IRC, se ligó con organismos de orden nacional y local de quienes recibe apoyo, asesorado por consultores locales en aspectos especializados, tales como estructuras, hidráulica, suelos, producción de material didáctico escrito y audiovisual.



Fig. No. 32. Organización general del grupo de trabajo.

En los convenios con organizaciones del sector en la región, el grupo procura intercambiar experiencias y confrontar sus criterios para mejorar su trabajo. Esto le ha ido abriendo un espacio y le está facilitando el cumplimiento de los objetivos. En la ejecución de estos convenios se procura también que profesionales y técnicos de las agencias del estado involucradas se hagan partícipes del Proyecto y aprendan de su desarrollo.

El AREA con base en las acciones adelantadas ha venido madurando su esquema y criterios de trabajo, que con el apoyo de diferentes entidades internacionales, nacionales, regionales y de la administración de la Universidad le han permitido iniciar el proceso de creación del Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA), que será el soporte básico del proceso de transferencia organizada de tecnología con impacto nacional y latinoamericano.

#### **4.2 Recurso humano adscrito directamente al Area de Abastecimiento y Remoción de Agua**

Directamente vinculados al AREA trabaja un equivalente de 24 profesionales de tiempo completo (TC) incluyendo un economista, una administradora, seis profesionales de las ciencias sociales, una pintora y 15 ingenieros sanitarios y civiles, una bióloga, un químico. Con ellos colabora un grupo de 14 técnicos y auxiliares de TC incluyendo un técnico de laboratorio, dos asistentes administrativos, una secretaria ejecutiva, dos mecanógrafas, tres dibujantes, cinco

auxiliares de ingeniería y una auxiliar general. Esto corresponde a un total de 32 T.C., de los cuales cuatro T.C. son personal de nómina con cargo a fondos comunes de la Universidad del Valle.

El AREA contrata además profesionales a corto plazo para desarrollar actividades específicas en el marco de proyectos ejecutados por el personal vinculado a más largo plazo. En esta modalidad se ha contratado una química con nivel de MSc. como jefe de laboratorio en Puerto Mallarino y un arquitecto y se prevé la vinculación de un ingeniero de sistemas.

Adicionalmente en el AREA desarrollan actividades un importante número de estudiantes. Estos estudiantes regularmente son de la facultad de ingeniería pero se prevé que en el futuro lo harán también estudiantes de las facultades de Ciencias, Humanidades y Salud.

Varios estudiantes de pregrado hacen su trabajo final o tesis de grado con base en los diferentes proyectos que adelanta o promueve el AREA. Ahora la realiza una estudiante de estadística, quien además es becaria de T.C. de uno de los proyectos en ejecución. Próximamente lo harán estudiantes de I. Civil y de I. Mecánica desarrollando y probando accesorios para medición y control de flujo y probando equipo para lavado de arena.

Se prevé también que estudiantes de postgrado y profesionales de otros países harán residencias en los proyectos del AREA. En este sentido se ha tenido una primera experiencia con el estudiante Hielke Wolters de la Universidad Tecnológica de Delft, quien con el apoyo del IRC, preparó su tesis de postgrado en el proyecto de pretratamientos ejecutado por el AREA.